

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Off nlegungsschrift  
⑪ DE 3933308 A1

⑳ Aktenzeichen: P 39 33 308.6  
㉔ Anmeldetag: 5. 10. 89  
㉕ Offenlegungstag: 3. 5. 90

⑤1 Int. Cl. 5:  
G 02 B 26/10  
G 03 F 7/23  
// H 01 L 21/306

DE 3933308 A1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1  
05.10.88 US 253717

⑦1 Anmelder:  
Jain, Kantilal, Briarcliff Manor, N.Y., US

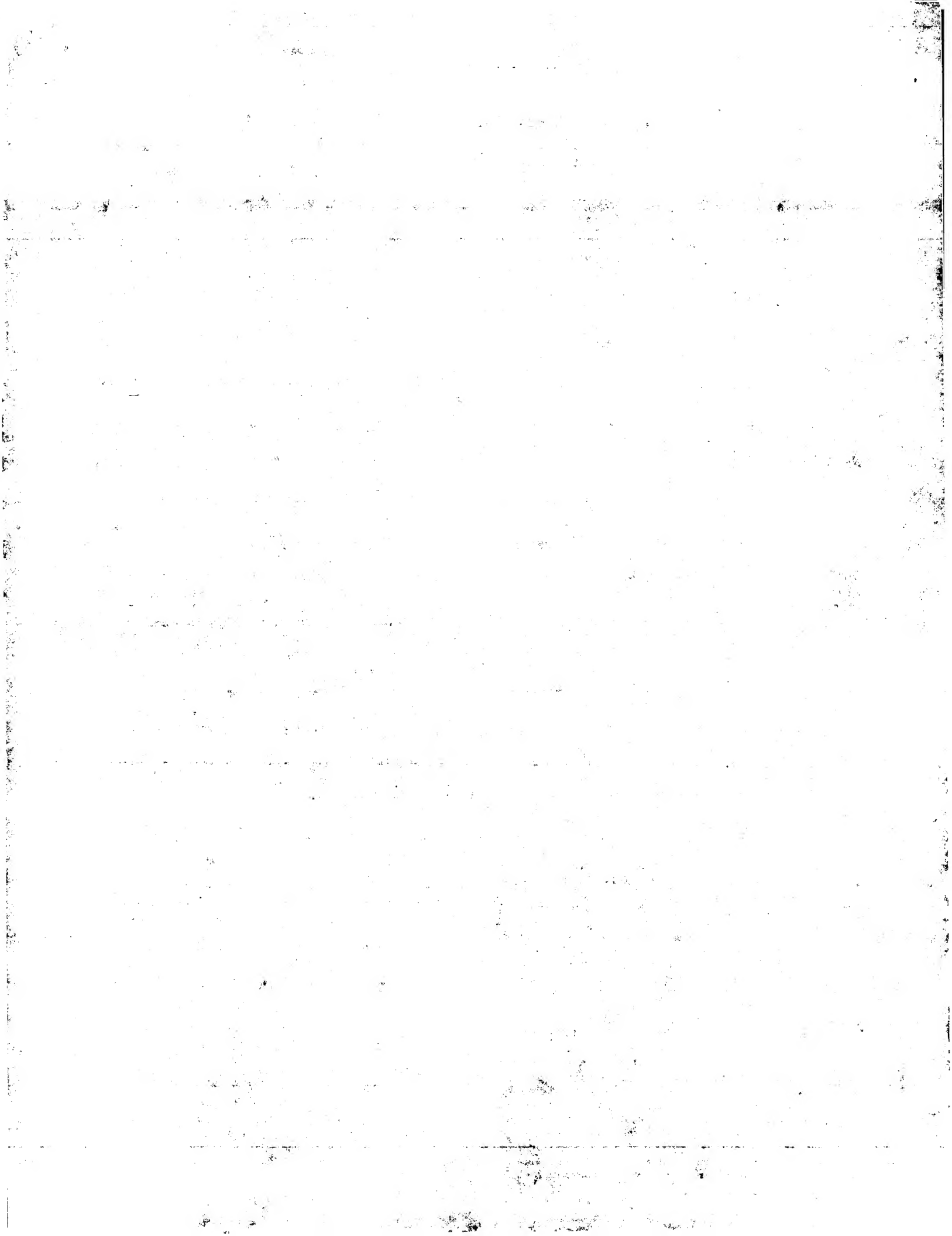
⑦4 Vertreter:  
Weickmann, H., Dipl.-Ing.; Fincke, K., Dipl.-Phys.  
Dr.; Weickmann, F., Dipl.-Ing.; Huber, B.,  
Dipl.-Chem.; Liska, H., Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Prechtel,  
J., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 8000  
München

⑦2 Erfinder:  
gleich Anmelder

⑤4 Abtast- und Wiederholungs-Projektionslithographiesystem mit hoher Auflösung

Es wird ein lithographisches System mit Abtastung und Wiederholung angegeben, das ein hohes Auflösungsvermögen, eine große effektive Bildfeldgröße und eine hohe Substratbelichtungsgeschwindigkeit hat. Hierbei ist folgendes vorgesehen: ein Substratträger, der ein Substrat in einer Abmessung abtasten kann und der dann, wenn er keine Abtastung in dieser Abmessung vornimmt, eine Bewegung quer in einer Richtung senkrecht zu der Abtasteinrichtung derart ausführen kann, daß das Substrat für eine weitere Abtastung positioniert wird; der Substratträger belichtet das vollständige Substrat, indem die Substratfläche in parallele Streifen aufgeteilt wird und jeder Streifen durch Abtasten der Länge des Streifens über einen festen Ausleuchtbereich hinweg belichtet wird; ein Maskenträger kann in dieselbe Richtung abtasten, und zwar synchron mit dem Substratträger, aber mit einer Geschwindigkeit, die größer als die Substratträger-Abtastgeschwindigkeit um ein gewisses Verhältnis N ist; eine Ausleuchtunterbaugruppe hat eine effektive Quellenebene in Form eines Polygons und kann einen polygonförmigen Bereich auf der Maske gleichmäßig ausleuchten; eine Projektionsunterbaugruppe hat ein Objekt-zu-Bild-Verkleinerungsverhältnis M, das ein polygonförmiges Bildfeld mit einer kleineren Fläche als die gewünschte effektive Bildfeldgröße des lithographischen Systems hat; und es werden komplementäre Belichtungen in einem überlappenden Bereich zwischen den durch benachbarte Abtastungen belichteten...

DE 3933308 A1



## Beschreibung

Die Erfindung befaßt sich mit Lithographiesystemen zur Abbildung von Mustern, und insbesondere bezieht sich die Erfindung auf ein Lithographieverfahren und eine -vorrichtung, welche ein Abtast- und Wiederholungssystem haben, welches sich dadurch auszeichnet, daß durch benachbarte Abtastungen komplementäre Randausleuchtungen zur Erzeugung von genauen Bildern mit hohem Musterauflösungsvermögen von einer Maske auf einem Substrat mit einer hohen Geschwindigkeit und über ein Bildfeld hinweg erzeugt werden, das wesentlich größer als die maximale Bildfeldgröße der Abbildungsoptik ist.

Lithographiesysteme werden umfassend bei der Herstellung von integrierten Schaltungschips und elektronischen Schaltungsplatten eingesetzt. Derartige Systeme umfassen in typischer Weise eine primäre Belichtungsquelle, wie eine Lampe mit einer hohen Leuchtstärke oder einen Laser oder eine Quelle mit einer anderen Strahlung, Masken- und Substratpositioniereinrichtungen, ein Projektionssystem, um das auf der Maske vorhandene Muster auszuleuchten und auf dem Substrat abzubilden, und eine Steuereinrichtung. Insbesondere ist beabsichtigt, eine Wafer, die mit einer Schicht aus einem strahlungsempfindlichen Material versehen ist, auszuleuchten oder zu belichten, um das gewünschte Schaltungsmuster zu erzeugen, das später metallisiert oder auf eine andere Art und Weise während des weiteren Verarbeitungsvorganges aktiviert wird. Die Ausleuchtung kann mittels ultraviolett Licht oder sichtbarem Licht oder einer anderen Strahlung, wie Röntgenstrahlung oder Elektronenstrahlung, erfolgen. Es sollen die Zielbereiche selektiv derart ausgeleuchtet werden, um ein spezielles Muster zu aktivieren. Integrierte Schaltungschips werden in typischer Weise vielen Ausleuchtungsschritten und physikalischen Behandlungsschritten während der Herstellung unterzogen.

Da in zunehmendem Maße der Bedarf an Chips mit immer größerem Speicher- und Verarbeitungsvermögen zunimmt, werden die einzelnen Bits auf den Chips hinsichtlich ihrer Abmessungen immer kleiner. Hierdurch wird es erforderlich, daß die lithographische Anlage, die zur Abbildung dieser Muster eingesetzt wird, ein immer höheres Auflösungsvermögen haben sollte. Zugleich machen die größeren physikalischen Abmessungen der Chips es erforderlich, daß man eine höhere Auflösung über einem größeren Bildfeld erzielt.

Ein Vorschlag im Stand der Technik zur Erzielung eines hohen Auflösungsvermögens besteht darin, optische Abbildungsverkleinerungssysteme einzusetzen, bei denen das Muster auf der Maske um einen Faktor von 5 bis 10 verkleinert wird, wenn es auf der Wafer reproduziert wird. Da ein derartiges Verkleinerungssystem fähig ist, ein hohes Auflösungsvermögen nur über einem begrenzten Bildfeld bereitzustellen, wird der Belichtungsbereich auf eine Chipgröße begrenzt, etwa einer Fläche von 1 cm<sup>2</sup>. Die gesamte Wafer wird dadurch bearbeitet, daß ein Chip belichtet wird, in einem Schritt zu dem nächsten Chip weitergeschaltet wird und die Verarbeitung bzw. Bearbeitung wiederholt wird. Bei diesen üblichen Anlagen, die als Schritt- oder Wiederholungssystem bekannt sind, ist das Grenzleistungsvermögen durch die Verkleinerungsprojektionslinsenanordnung bestimmt, die in typischer Weise eine Vielzahl von einzelnen Linsenelementen umfaßt. Da die Anforderungen an die Auflösung steigen, wird die Auslegung dieser Linsen immer komplizierter. Wenn ferner eine Linse für ein höheres Auflösungsvermögen ausgelegt ist, nimmt in typischer Weise ihre Bildfeldgröße ab. Eine Linse sowohl mit einem höheren Auflösungsvermögen als auch mit einer größeren Bildfeldgröße auszuliegen und bereitzustellen, ist eine äußerst schwierige Aufgabe.

Ein weiterer Vorschlag im Stand der Technik besteht darin, ein Abbildungssystem mit einem 1:1-Vergrößerungsverhältnis einzusetzen, bei dem die Wafer durch einen langen und schmalen, gekrümmten Schlitz belichtet wird und bei dem die Abbildung über die gesamte Wafer dadurch erfolgt, daß die gesamte Wafer einmal über diesen langen und schmalen Schlitz abgetastet wird. Obgleich derartige Systeme die Fähigkeit hatten, große Chips zu belichten, sind sie hinsichtlich ihrem Auflösungsvermögen infolge ihrer kleinen numerischen Apertur begrenzt. Da ferner Vorrichtungsauflosungsanforderungen nunmehr in den Bereich unter  $\mu\text{m}$  zurückgehen und sich beispielsweise insbesondere auf 0,5  $\mu\text{m}$  und weniger belaufen, haben diese Abtastsysteme zusätzlich Schwierigkeiten dahingehend, daß Masken mit demselben hohen Auflösungsvermögen wie die herzustellenden Erzeugnisse erforderlich sind. Daher haben diese Systeme keinen großen Eingang bei der Herstellung von integrierten Schaltungschips mit Abmessungen unter 1  $\mu\text{m}$  gefunden.

Ferner gibt es zur Erzielung eines großen Bildfeldes die Möglichkeit, ein Abbildungssystem einzusetzen, das als Wynne-Dyson-Auslegung bekannt ist und das ein Vergrößerungsverhältnis von 1:1 hat. Obgleich diese Systeme große Chips belichten können, da sich ihr Vergrößerungsverhältnis auf 1:1 beläuft, sind sie mit den vorstehend genannten Nachteilen behaftet, wobei insbesondere ihr Auflösungsvermögen stark eingeschränkt ist, was darauf zurückzuführen ist, daß die Anforderungen an die Maske zu immer größeren Schwierigkeiten führen.

Auf dem Gebiet der Lithographie gibt es Vorschläge, eine Elektronenstrahlausleuchtung einzusetzen, bei der entweder ein fokussierter Elektronenstrahl mit einem Bit-um-Bit-seriellen Schreibverfahren oder eine Schattenprojektion durch 1:1 Matrizenmaske einzusetzen. Diese Systeme haben jeweils die Nachteile einer niedrigen Belichtungsgeschwindigkeit, und es sind komplizierte und schwierige Maskentechnologien anzuwenden. Übliche Röntgenstrahl-Lithographiesysteme setzen in ähnlicher Weise das Schattenducken durch 1:1 Membranismasken ein, und diese haben daher entsprechend den vorstehenden Ausführungen selten Nachteile im Hinblick auf das 1:1-Muster und die Schwierigkeiten im Hinblick auf die Anforderungen der Maskenherstellung.

Unter Berücksichtigung der Beschränkungen bei den vorstehend erörterten üblichen Systemen besteht ein großes Bedürfnis, ein lithographisches System bereitzustellen, welches ein höheres Auflösungsvermögen, hohe Belichtungsgeschwindigkeiten und eine stark erweiterte Feldgröße bereitstellt.

Die Erfindung zielt darauf ab, ein Lithographiesystem bereitzustellen, das sowohl ein hohes Auflösungsvermögen als auch eine große effektive Bildfeldgröße sowie eine große Durchsatzmenge bei der Herstellung ermöglicht, um genaue Bilder mit einer hochauflösenden Maske auf einem Substrat, wie einer Halbleiterwafer, zu erzeugen.

Nach der Erfindung ist hierzu eine Einrichtung angegeben, die mit "Abtast- und Wiederhol-" Einrichtungen bezeichnet wird, um ein Bild der Maske über einem gewissen Feld zu erzeugen, dann zugleich das Substrat und die Maske über das vorstehend genannte Feld hinweg abzutasten, dann das Substrat in Querrichtung derart zu bewegen, daß man einen neuen Abtastbereich belichtet bzw. freilegt und dann die Abtastung mehrmals wiederholt wird, um das gesamte Substrat zu belichten.

Gemäß einem weiteren Merkmal nach der Erfindung wird ein hexagonales Bildfeld bereitgestellt, und die Abtastung erfolgt über dieses hexagonale Feld.

Gemäß einem weiteren Merkmal nach der Erfindung werden komplementäre Belichtungen in einem überlappenden Bereich zwischen benachbarten Abtastungen derart vorgesehen, daß eine Randcharakteristik eines unterschiedlich belichteten Substratbereiches zwischen den Abtastungen vollständig fehlt und daß die Ausleuchtungsbelichtungs-dosis über dem gesamten Substrat gleichmäßig ist.

Gemäß einem weiteren Merkmal nach der Erfindung wird eine Einrichtung zum periodischen Rücksetzen der Maske derart angegeben, daß die Maske eine Vielzahl von Chipfeldern enthalten kann und dennoch keine unvertretbaren großen Abmessungen hat.

Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung ist eine Rückführungssteuereinrichtung zum inkrementellen Abtasten des Substrats mit einer konstanten Belichtungs-dosis und mit einer genauen Positionssteuerung vorgesehen, um das häufige, nochmalige Wiederausrichten des Substrats zu der Maske in den gewünschten Intervallen in starkem Maße zu erleichtern.

Einer der Vorteile der Erfindung ist darin zu sehen, daß man eine hohe Geschwindigkeit in Verbindung mit dem Vermögen erzielen kann, ein hohes Auflösungsvermögen über einem Bildfeld zu erreichen, das beträchtlich größer als die unverzerrte Feldgröße der optischen Abbildungseinrichtung ist, so daß man eine Herstellung von integrierten Schaltungschips mit beträchtlich größeren Abmessungen und einer höheren Durchsatzmenge ermöglichen kann.

Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachstehenden Beschreibung von bevorzugten Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigefügte Zeichnung. Darin zeigt:

Fig. 1 eine schematische Ansicht eines Abtast- und Wiederholungs-Lithographiesystems zur Verdeutlichung eines Ausleuchtungs-systems, einer Maske, die auf einem Maskenträger enthalten ist, einer Projektionslinsen-anordnung, eines Substrats, das mittels eines Substrat-trägers gehalten ist, und eines Steuersystems,

Fig. 2 ein Diagramm zur Verdeutlichung der effektiven kreisförmigen und quadratischen Bildfeldgrößen der Projektionslinse, des hexagonalen Ausleuchtbereichs auf dem Substrat und der effektiven Abtastbreite,

Fig. 3 eine schematische Ansicht zur Verdeutlichung der Abtast- und Wiederholungseinrichtung, wobei zwei benachbarte Abtastungen und eine komplementäre Belichtung in dem überlappenden Bereich zwischen den beiden hexagonalen Ausleucht-bereichen gezeigt sind, wodurch man den randlosen Belichtungsübergang zwischen den beiden Abtastungen erzeugt,

Fig. 4 eine prinzipielle Darstellung einer randlosen, überlappenden Sechseckabtastung,

Fig. 5 ein Diagramm einer bevorzugten Ausführungsform der Abtast- und Wiederholungseinrichtung, wobei eine Abtasteinrichtung gezeigt ist, die zwischen links nach rechts und rechts nach links in jeder folgenden Abtastung wechselt und die Substratbewegung mit w am Ende jeder Abtastung gezeigt ist,

Fig. 6 eine schematische Darstellung zur Verdeutlichung des Auslegungsplans der Chipfelder auf der Maske,

Fig. 7 eine Ansicht zur Verdeutlichung der Chipfelder auf dem Substrat, wobei die Stellen dargestellt sind, an denen eine Rückstellung des Maskenträgers erfolgt,

Fig. 8 eine Ansicht zur Verdeutlichung von repräsentativen Maskenauslegungsplänen in Verbindung mit einer nebeneinanderliegenden Darstellung der Maskenchipfelder und der hexagonalen Abtastfelder, welche eine komplementäre Belichtung im überlappenden Bereich zwischen benachbarten Abtastungen ermöglichen und die Erzeugung eines Saums bzw. Rands verhindern,

Fig. 8A eine detaillierte Ansicht des Maskenauslegungsplanes, der 2 m vollständige Chipfelder umfaßt,

Fig. 8B eine detaillierte Ansicht eines Maskenauslegungsplanes, der 3 m vollständige Chipfelder umfaßt,

Fig. 8C eine detaillierte Ansicht zur Verdeutlichung eines Maskenauslegungsplanes, der m vollständige und m Teilchipfelder umfaßt,

Fig. 8D eine detaillierte Ansicht eines Maskenauslegungsplanes, der m vollständige und 2m Teilchipfelder umfaßt,

Fig. 9 eine schematische Darstellung zur Verdeutlichung des Prinzips der gleichzeitigen, zweidimensionalen Abtastung für eine Lithographie mit hohem Auflösungsvermögen,

Fig. 10 eine Tabelle zur Verdeutlichung verschiedener Belichtungsparameter einschließlich der Energie pro Impuls an der Wafer- und Laserenergie für unterschiedliche Photowiderstandsempfindlichkeiten und Laserimpuls-wiederholungsraten, und

Fig. 11 eine Tabelle über die Waferdurchsatzwerte für Wafer mit unterschiedlichen Durchmesser und unterschiedlichen Ausrichtbedingungen.

Die Erfindung ermöglicht, ein Lithographiesystem bereitzustellen, das alle die nachstehenden Eigenschaften hat: (a) Es hat ein hohes Auflösungsvermögen bei der Erzeugung von Bildern eines Maskenmusters auf einem Substrat; (b) es hat ein großes effektives Bildfeld; und (c) es hat eine große Durchsatzmenge während der Bearbeitung zum Belichten der Substrate. Die Vorrichtung zur Erzielung dieser Eigenschaften umfaßt einen Substrat-träger, welcher abtasten und sich in Querrichtung bewegen kann, einen Maskenträger, der abtasten kann und zurückgestellt werden kann, und der funktionell mit dem Substrat-träger gekoppelt ist, ein Ausgleichs-system, eine Projektionslinsen-anordnung und eine Steuereinrichtung.

Fig. 1 zeigt die wesentlichen Teile der Vorrichtung. Das Substrat 10, wie eine Halbleiterwafer, die mit einer Schicht aus einem photoempfindlichen Material beschichtet ist, ist starr im Substrat-träger 12 festgelegt. Die Maske 14, die ein Muster mit hohem Auflösungsvermögen enthält, das auf dem Substrat 10 abzubilden ist, ist

starr in dem Maskenträger 16 festgelegt. Der Substratträger 12 und der Maskenträger 16 können äußerst feine Präzisionsbewegungen ausführen, deren Einzelheiten nachstehend kurz erläutert werden. Die Maske 14 wird durch eine Strahlung von dem Ausleuchtungssystem 18 ausgeleuchtet, welches eine Ausleuchtquelle 20, Relaislinsen 22 und eine Strahlenkeineinrichtung 24, wie einen 45°-Frontflächenspiegel, umfaßt. Die Ausleuchtquelle 20 ist derart beschaffen und ausgelegt, daß ihre effektive Abstrahlebene 21 die Form eines regelmäßigen Sechsecks hat. Die Relaislinse 22 sammelt die Strahlung in einer gewissen numerischen Apertur  $NA_s$  von der hexagonal ausgebildeten, effektiven Quellenebene 21 und nimmt eine Abbildung mit einer gewissen Vergrößerung und der numerischen Apertur  $NA_{ms}$  auf der Maske 14 vor. Die Projektionslinsenanordnung 26, die mehrere, gesonderte Linsenelemente 28 umfaßt, bildet ein genaues Bild des Musters mit hoher Auflösung in dem hexagonalförmig ausgeleuchteten Bereich auf der Maske mit einem gewissen Verkleinerungsverhältnis  $M$  auf dem Substrat 10 ab. Die Projektionslinsenanordnung 26 hat eine numerische Apertur  $NA_m$  auf der Maskenseite und  $NA_w$  auf der Substratseite.  $NA_w$  ist durch die Auflösungsanforderungen des lithographischen Systems bestimmt, und  $NA_m$  ist auf  $NA_w$  durch die Gleichung  $NA_m = NA_w/M$  bezogen. Die Projektionslinsen-Anordnung 26 ist für ein möglichst großes, kreisförmiges Bildfeld ausgelegt (siehe 31 in Fig. 2), und der Belichtungsbereich auf dem Substrat ist dann als das größte regelmäßige Sechseck (in Fig. 2 mit 32 bezeichnet) definiert, das in das vorstehend angegebene Kreisfeld einbeschrieben werden kann.

Unter Bezugnahme auf Fig. 1 tastet nun der Substratträger 12 das Substrat 10 über den hexagonalförmigen Belichtungsbereich hinweg ab, und zugleich tastet der Maskenträger 16 die Maske 14 über den hexagonalförmigen, ausgeleuchteten Bereich hinweg ab, so daß die Länge des Substrats in Richtung der Abtastung erfaßt wird. Während einer solchen Abtastung setzt der Maskenträger 16 die Maske in ihrer Ausgangsposition mehrmals zurück. Nach der Beendigung einer Abtastung über die Substratlänge hinweg bewegt der Substratregler 5 das Substrat 10 in eine Richtung senkrecht zu der Abtastrichtung und um eine Größe, die nachstehend als "effektive Abtastbreite" bezeichnet wird. Im Anschluß an eine solche senkrechte Bewegung des Substrats erfolgt eine neue Abtastung durch präzise Bewegung der Substrat- und Maskenträger auf dieselbe wie zuvor beschriebene Weise. Die effektive Abtastbreite und das Ausleuchtungsquellensystem haben derartige Charakteristika, daß sie in Kombination einen Übergang von einer Abtastung zu der nächsten, benachbarten Abtastung erzeugen, der vollständig randlos und frei von jeglichen Intensitätsungleichmäßigkeiten ist. Dieser vorstehend genannte Belichtungsvorgang, der mittels einer "Abtast- und Wiederholungs-" Einrichtung durchgeführt wird, wird wiederholt, bis das gesamte Substrat mit der gewünschten Anzahl von Mustern belichtet ist. Die Einzelheiten der Abtastung, der Schrittschaltung, des Rücksetzens und der Wiederholungsbewegung, die vorstehend angegeben wurden, werden nachstehend beschrieben. Die Steuereinrichtung 30 ist funktionell mit dem Ausleuchtungssystem 18, dem Maskenträger 16, der Projektionslinsenanordnung 28 und dem Substratträger 12 verknüpft, und sie stellt sicher, daß die Masken- und Substratträger in geeigneter Weise bezüglich der Projektionslinsenanordnung ausgerichtet sind, daß die Masken- und Substratträger die Abtast- und Wiederholungsbewegungen mit der gewünschten Synchronisierung ausführen und daß das Ausleuchtungssystem die gewünschten Ausleuchtungscharakteristika über die Belichtung des gesamten Substrats hinweg konstant hält.

Unter Bezugnahme auf Fig. 3 wird nunmehr die Einrichtung der Sechseckabtastung mit randloser Überlappung beschrieben. Das regelmäßige Sechseck 36, das auch mit  $a-b-g-j-h-c$  bezeichnet ist, stellt den ausgeleuchteten Bereich auf dem Substrat zu jedem beliebigen, gegebenen Zeitpunkt dar. Das Substrat wird über diesen Ausleuchtungsbereich hinweg von rechts nach links abgetastet. Es ist wichtig darauf hinzuweisen, daß die Ausleuchtstrahlung (29 in Fig. 1) selbst stationär ist, wie dies auch bei der Projektionslinsenanordnung (26 in Fig. 1) der Fall ist. Zum Zwecke einer bildhaften Darstellung kann somit die Bewegung des Substrats über den Strahl hinweg effektiv als die Abtastung des hexagonalen Ausleuchtungsbereiches über ein stationäres Substrat hinweg von links nach rechts angesehen werden. Dies ist als Abtastung 1 oder 37 in Fig. 3 gezeigt. Die Ausrichtung des Sechsecks 36 ist derart getroffen, daß eine der Seiten, beispielsweise  $b-g$ , senkrecht bzw. orthogonal zu der Abtastrichtung ist.

Um die nächste Abtastung zu erzeugen, wird zuerst das Substrat in einer Richtung senkrecht zu der Abtastrichtung, in Abstand  $w$  bewegt, der durch folgende Gleichung bestimmt ist:

$$w = 1,5 l_h$$

wobei  $l_h$  die Länge jeder Seite des Sechsecks ist. (Später wird noch gezeigt werden, daß  $w$  die effektive Abtastbreite ist.) Diese neue Position des Ausleuchtungsbereiches relativ zu dem Substrat ist mit 38 bezeichnet und auch mit  $d-e-n-m-k-f$  dargestellt. Die Abtastung 2, die mit 39 bezeichnet ist, wird nunmehr durch die Abtastung des Substrats über den hexagonalen Ausleuchtungsbereich 38 hinweg auf übereinstimmende Weise wie bei der Erzeugung der Abtastung 1 erzeugt.

Ein wesentlicher Aspekt der hierin beschriebenen Abtast- und Wiederholungseinrichtung, insbesondere der randlose Überlappungsbereich zwischen benachbarten Abtastungen, wird nachstehend näher beschrieben. Zuerst werden noch die nicht überlappenden Bereiche angegeben. Bei der Abtastung 1 ist der von dem viereckigen Abschnitt  $b-g-h-c$  des Sechsecks 36 überstrichene Bereich nicht so beschaffen, daß er jeden Teil der Abtastung 2 überlappt. Ähnlich ist bei der Abtastung 2 der Bereich, der von dem viereckigen Teil  $e-f-k-n$  des Sechsecks 38 überstrichen wird, nicht mit allen Teilen der Abtastung 1 überlappend. Jedoch wird der Bereich, der von dem dreieckförmigen Segment  $a-b-c$  des Sechsecks 36 in der Abtastung 1 überstrichen wird, bei der Abtastung 2 durch das dreieckförmige Segment  $d-e-f$  des Sechsecks 38 nochmals überstrichen. Es wird nunmehr die kumulative Belichtungs-dosis verdeutlicht, die man in dem überlappenden Bereich erhält, und die gleich jener in den nicht überlappenden Bereichen ist, und es wird auch verdeutlicht, daß der Übergang von der Abtastung 1 zu der Abtastung 2 hinsichtlich der Belichtungs-dosisgleichmäßigkeit randlos bzw. nahtlos ist.

In Fig. 4 soll nunmehr ein Segment des Sechsecks 36 in Form eines Streifens 40 mit der Länge  $b$  (cm) und der

Breite  $\delta$  (cm) in dem nicht überlappenden Abtastbereich des Substrats betrachtet werden. Wenn man annimmt, daß  $I_0$  (mW/cm<sup>2</sup>) die Intensität des auftreffenden Strahls,  $v_x$  (cm/s) die Abtastgeschwindigkeit und  $t_0$  (s) die Zeit des Substrats ist, innerhalb der dieses einen Weg  $l_0$  zurücklegt, so ergibt sich  $t_0 = l_0/v_x$ . Die Belichtungsdosis  $D_0$  (mJ/cm<sup>2</sup>), die von dem Substrat in dem Streifen 40 aufgenommen wird, ergibt sich dann gemäß folgender Gleichung.

$$D_0 = I_0 t_0 = I_0 l_0 / v_x = \sqrt{3} I_0 l_h / v_x.$$

Nunmehr wird ein Streifen 42 wiederum mit einer Breite und parallel zu der Abtastrichtung in einem Abstand  $y$  von  $b-c$  oder  $l_h/2 - y$  von der Spitze  $a$  betrachtet. Die Länge des Streifens 42 ist gegeben durch

$$l_{y1} = 2\sqrt{3} (l_h/2 - y),$$

und die Zeit, die das Substrat zur Abtastung einer Länge  $l_h$  benötigt, ist dann wie folgt:

$$t_1 = l_{y1} / v_x = 2\sqrt{3} (l_h/2 - y) / v_x.$$

Somit beläuft sich die Dosis, die in dem Substratbereich abgetastet mittels des Streifens 42 aufgenommen wird,

$$D_1 = I_0 t_1 = 2\sqrt{3} (l_h/2 - y) I_0 / v_x.$$

Nunmehr soll die Abtastung mittels des Sechsecks 38 betrachtet werden. Das Segment des Sechsecks 38, das einen Bereich abtastet, der sich mit dem Bereich überlappt, der durch den Streifen 42 abgetastet wird, ist der Streifen 44 und hat eine Breite  $\delta$  und eine Länge

$$l_{y2} = 2\sqrt{3} y.$$

Die Abtastzeit für die Länge  $l_{y2}$  beläuft sich auf

$$t_2 = l_{y2} / v_x = 2\sqrt{3} y / v_x,$$

und daher beläuft sich die Dosis, die in dem Substratbereich, die durch den Streifen 44 abgetastet wird, aufgenommen wird, auf

$$D_2 = I_0 t_2 = 2\sqrt{3} y I_0 / v_x.$$

Somit beläuft sich die kumulative Dosis in dem Überlappungsbereich auf

$$D = D_1 + D_2 = 2\sqrt{3} (l_h/2 - y) I_0 / v_x + 2\sqrt{3} y I_0 / v_x,$$

oder

$$D = \sqrt{3} l_h I_0 / v_x = D_0.$$

Somit ist die Gesamtbelichtungsdosis, die an jeder Stelle in den überlappenden Bereichen des Substrats aufgenommen wird, die gleiche wie die Dosis, die in den nicht überlappenden Bereichen aufgenommen wird. Ferner ist die gesamte Belichtung nahtlos bzw. randlos, da (a) die durch die Sechsecke 36 und 38 erhaltenen Dosiswerte in Gegenrichtungen in den überlappenden Bereich abnehmen, und (b) die Dosiswerte an der Spitze (a) und der Spitze (b) jeweils auf Null gehen.

Aus der vorstehenden Diskussion ergibt sich, daß trotz der Tatsache, daß die Belichtungsüberdeckung des Substrats frei von irgendwelchen Unterbrechungen ist, es einen definierbaren Parameter einer effektiven Abtastbreite,  $w$ , in dem Sinne gibt, daß die Gesamtbreite (in der Richtung orthogonal zu der Abtastrichtung) des Substrats, das mittels  $N$ -Abtastungen belichtet wird, sich auf  $Nw$  beläuft.

Die Abtast- und Wiederholungseinrichtung, die in den voranstehenden Absätzen beschrieben worden ist, hat eine solche Auslegung, daß alle Abtastungen in dieselbe Richtung erfolgen. Somit bewegt sich bei jeder Abtastung das Substrat von rechts nach links, am Ende jeder Abtastung kehrt es zur Ausgangsposition zurück, wird um einen Abstand  $w$  in eine Richtung senkrecht zu der Abtastrichtung bewegt und bewegt sich dann wiederum von rechts nach links für die nächste Abtastung. Bei der bevorzugten, in Fig. 5 gezeigten Ausführungsform ist die Abtastrichtung so gewählt, daß sie zwischen rechts nach links und links nach rechts bei jeder aufeinanderfolgenden Abtastung wechselt und daß die Bewegung um  $w$  in orthogonaler Richtung am Ende jeder Abtastung erfolgt, ohne daß das Substrat zu der Ausgangsposition der unmittelbar beendeten Abtastung zurückkehrt. Somit schreitet die Abtastung 1 (50) von links nach rechts fort, und am Ende derselben wird das Substrat um einen Abstand  $w$  (52) bewegt. Dann erfolgt die Abtastung 2 (54) von rechts nach links, und am Ende derselben wird das Substrat wiederum um einen Abstand  $w$  (56) bewegt. Dann erfolgt die Abtastung 3 (58) von links nach rechts, usw. Alle weiteren Einzelheiten der Einrichtung nach Fig. 5 stimmen mit jenen nach Fig. 3 überein.

Es wird nunmehr die Bewegung der Maske beschrieben. Da die Projektionslinse ein Verkleinerungsverhältnis  $M$  hat, sind die Muster auf der Maske das  $M$ -fache größer als die auf dem Substrat abzubildenden. Wenn das Substrat eine Halbleiterwafer ist, auf der integrierte Schaltungschips herzustellen sind, dann jedes Chipfeld auf



der Maske das  $M$ -fache größer aus das auf dem Substrat herzustellende Chip. Da ferner das Substrat die Abtastung über den stationären Ausleuchtstrahl hinweg vornimmt, wird die Maske gleichzeitig mit einer Geschwindigkeit des  $M$ -fachen von jener des Substrats abgetastet. Wenn jedoch die Maskenabtastung über die gesamte Länge der Substratabtastung hinweg ununterbrochen fortgesetzt würde, müßte die Maske eine beträchtlich große Abmessung haben. Beispielsweise für eine Halbleiterwafer mit einem Durchmesser von etwa 15 cm (6 inch) und einer Projektionslinse mit einem Verkleinerungsverhältnis von 5, müßte die Maske wenigstens 75 cm (etwa 30 inch) lang sein, was praktisch unmöglich ist. Diese Schwierigkeit wird auf die nachstehend beschriebene Weise überwunden.

Die Maske (60 in Fig. 6) hat eine beherrschbare Größe (ist beispielsweise 25 cm (10 inch) lang), und sie enthält eine sehr kleine Anzahl  $m$  ( $m=2$ , beispielsweise) vollständige Chipfelder, wie dies mit 62 in Fig. 6 gezeigt ist. Wenn die Abtastung über diese Chipfelder auf der Maske hinweg beendet ist, werden der Substraträger und der Maskenträger momentan angehalten (66, 68 in Fig. 7). Nunmehr wird der Maskenträger auf die Ausgangsposition zurückgestellt, die gleichzeitige Abtastung der Maske und des Substrats wird wieder aufgenommen (siehe Fig. 7), und weitere  $m$ -Chips werden abgebildet. Anschließend wird die Maske wiederum zurückgesetzt. Dies wird wiederholt, bis die Substratabtastung vollständig die Länge des Substrats erfaßt hat. Das Substrat alleine wird nunmehr um die effektive Abtastbreite  $w$  in eine Richtung senkrecht zu der Abtastrichtung bewegt, und die vorstehend beschriebene Vorgehensweise wird bei der nächsten Abtastung in Gegenrichtung wiederum ausgeführt. Es ist keine Bewegung in der  $y$ -Richtung, d. h. in Richtung senkrecht zu der Abtastrichtung, notwendig, da entsprechend den vorstehenden Ausführungen die effektive Maskenabtastbreite so beschaffen ist, daß sie ausreicht, um die Breite eines Maskenchipfeldes zu erfassen. In jenen Fällen, bei denen die Chipfelder weiter als die Abtastbreite sind und diese belichtet werden müssen, ist der Maskenträger so ausgelegt, daß er sich in  $y$ -Richtung bewegen kann.

Nachdem nunmehr die wesentlichen Aspekte der Maskenbewegung erläutert wurden, soll nunmehr eine Zusammenfassung der  $m$  vollständigen Chipfelder vorgenommen werden. Die Maske muß zusätzliche gemusterte Bereiche haben, so daß aufgrund der erforderlichen nahtlosen, überlappenden Abtastung der gesamte Maskenbereich, der in dem hexagonalen Maskenausleuchtbereich eingeschlossen ist, auf das Substrat abgebildet wird. Diese zusätzlichen, gemusterten Bereiche auf der Maske können in Form von  $m$  vollständigen Chipfeldern (70, Fig. 8A),  $2m$  vollständige Chipfelder (72, Fig. 8B),  $m$  partielle Chipfelder (74, Fig. 8C) oder  $2m$  partielle Chipfelder (76, Fig. 8D) gewählt werden.

Weitere Einzelheiten der Bewegungen der Masken- und Substraträger werden nunmehr erläutert. Bei der bevorzugten Ausführungsform wird die Ausleuchtquelleneinrichtung (20 in Fig. 1) eine gepulste Strahlungsquelle, wie ein Laser oder eine Lampe, eingesetzt. In diesem Fall erfolgt die Abtastung mittels des Substrat- und Maskenträgers in mehreren Schrittbewegungen, und jeder Schritt wird synchron mit dem Beginn eines Impulses von der Ausleuchtquelle ausgeführt. Die Impulswiederholungsrate (Frequenz) wird mit  $f$  (Hz) angenommen. Für eine nominale Substraträgerabtastgeschwindigkeit von  $v_x$  (cm/s) erfolgt dann die Abtastung des Substraträgers in einer Mehrzahl von Schritten, die jeweils  $v_x/f$  (cm) betragen. Natürlich sind die Maskenträgerschritte  $M$ -mal größer. Wenn die Schrittbewegung über die Maskenchipfelder beendet ist, werden alle Bewegungen angehalten, der Maskenträger wird zurückgesetzt, und der Arbeitsablauf wird entsprechend den vorstehenden Ausführungen wiederholt. Eine solche Einrichtung für die Bewegung der Träger bringt zwei Hauptvorteile mit sich. Zum einen erhält man eine Belichtungsgleichmäßigkeit durch die entsprechende Auslegung einer Steuereinrichtung, welche sicherstellt, daß ein Trägerschritt nur stattfindet, wenn die Quelle einen Impuls abgibt. Da zum anderen die Substrat- und die Maskenträger schrittweise synchronisiert, wird eine genaue Ausrichtung bei allen gewünschten Intervallen ermöglicht. Wenn daher die Ausrichtung für jedes Chip erfolgen soll und die Chiplänge  $l_c$  längs der Abtastrichtung ist, dann muß die Ausrichtung alle  $l_c/f/v_x$ -Impulse, die von der Quelle abgegeben werden, oder den mit dem Träger ausgeführten Schritten vorgenommen werden. In Fällen, bei denen die Ausleuchtquelle eine kontinuierliche Lichtquelle anstelle einer gepulsten Lichtquelle ist, ist der Masken-Substrat-Ausrichtungsvorgang nicht auf die Quelle bezogen, und er wird unabhängig hiervon vorgenommen.

Schließlich wird eine Ausführungsvariante der vorstehend beschriebenen Ausführungsform erläutert. Bei dieser Ausführungsform, die als "zweidimensionale, überlappende Abtastung" bezeichnet wird, erfolgt die Abtastung der Masken- und Substraträger gleichzeitig in sowohl in  $x$ -Richtung als auch in  $y$ -Richtung. Unter Bezugnahme auf Fig. 4 beginnt die Abtastung in  $x$ -Richtung mit der Abtastung 1 (80) von links nach rechts, die Richtung kehrt sich am Ende der Abtastung 1 um, die Abtastung 2 (82) erfolgt von rechts nach links, die Abtastung 3 (84) wiederum von links nach rechts, die Abtastung 4 (86) von rechts nach links, usw. Die Breite jeder  $x$ -Abtastung ist in Fig. 9 mit  $w$  bezeichnet. Dies dient nur zu Erläuterungszwecken, da der Ausleuchtbereich hexagonal ist und die Überlappung zwischen den Abtastungen 1 und 3 (und zwischen den Abtastungen 2 und 4) nahtlos ist, wie dies vorstehend angegeben ist.  $w$  ist somit die effektive Abtastbreite entsprechend der voranstehend angegebenen Definition. Gleichzeitig mit der Abtastung in  $x$ -Richtung werden das Substrat und die Maske kontinuierlich in  $x$ -Richtung abgetastet. Die  $y$ -Abtastrate ist derart gewählt, daß während der Zeit, die das Substrat braucht, um eine Links-nach-rechts-Abtastung und eine Rechts-nach-links-Abtastung vollständig abzuschließen, das Substrat in  $y$ -Richtung um die effektive Abtastbreite  $w$  bewegt wird. Wenn daher  $v_x$  und  $v_y$  jeweils die  $x$ - $y$ -Abtastgeschwindigkeiten des Substrats sind,  $l_x$  die gesamte  $x$ -Abtastlänge ist, und  $t_x$  und  $t_y$  die Zeiten jeweils sind, um die Abtastlängen  $l_x$  und  $w$  in  $x$ - und  $y$ -Richtungen abzutasten, so ergibt sich aufgrund des Bezugs von  $t_y = 2t_x$ ,  $v_y$  mit  $v_x$  durch

$$v_y/v_x = w/2l_x.$$

Die  $x$ - und  $y$ -Abtastraten der Masken sind jeweils mit  $MV_x$  und  $MV_y$  bezeichnet, wobei  $M$  wie zuvor angegeben das Verkleinerungsverhältnis der Projektionslinsenanordnung ist.

Bevor ein Beispiel der bevorzugten Ausführungsform nach der Erfindung erläutert werden soll, sollen die wesentlichen Vorteile zusammengefaßt werden. Die Abtast- und Wiederholeinrichtung ermöglicht nicht nur, daß man ein hohes Auflösungsvermögen erzielen kann, sondern es wird auch ermöglicht, wesentlich größere Chips als bisher bei lithographischen System mit hohem Auflösungsvermögen zu belichten, bei denen eine schrittweise Abtastung vorgenommen wurde und bei denen die gleiche Projektionslinsenordnung eingesetzt wird. Unter Bezugnahme auf Fig. 2 wird nunmehr eine Projektionslinsenordnung mit einer Kreisfeldgröße 31 mit einem Durchmesser  $21_h$  betrachtet. Das größte, viereckförmige Chip mit einem Seitenverhältnis 1 : 2 (34 in Fig. 2), das mit einer solchen Linse bei dem lithographischen System mit Schrittschaltung der üblichen Art belichtet werden kann, hat eine Breite von  $21_h \sin(\tan^{-1} 0,5) = 0,89 l_h$ . Im Vergleich hierzu kann das Abtast- und Wiederholungssystem, das hier beschrieben ist, Chips mit einer Breite von  $w = 1,5 l_h$  belichten, ohne die Maske in  $y$ -Richtung zu bewegen. Wenn die Abtast- und Wiederholungseinrichtung so ausgestaltet ist, daß eine Maskenbewegung in  $y$ -Richtung möglich ist, können Chips mit Breiten belichtet werden, die so groß wie die Substratbreite sind.

Bei der vorstehenden Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform wurde ein Brechungsprojektionsunterbaugruppe betrachtet, welches eine Linsenordnung ist, die eine Mehrzahl von einzelnen Linsenelementen umfaßt. Gemäß alternativen Ausführungsformen können einige oder alle der optischen Teile in der Projektionsunterbaugruppe reflektierende Elemente, wie dielektrische oder metallische Spiegel, sein. Eine derartige alternative Ausführungsform kann eine Röntgenstrahlausleuchtung und ein Röntgenstrahlprojektionsunterbaugruppe aufweisen, das mit einem gewissen Gegenstand-zu-Bild-Verhältnis ausgelegt ist und das Röntgenstrahl-Spiegel aufweist. Das Abtast- und Wiederholungslithographiekonzept mit einer nahtlosen Dosisabgabe mittels komplementärer Überlappung der Sechseckbelichtung, wie dies bei der Erfindung beschrieben ist, läßt sich auch bei verschiedenen lithographischen Näherungssystem einsetzen, d. h. Systemen, bei denen die Projektionsunterbaugruppe einen gewissen Abstand einnimmt und die Maske und das Substrat voneinander getrennt sind und die Bildprojektion in Form eines Schattendrucks stattfindet. Beispielsweise kann ein Abtast- und Wiederholungssystem eines Röntgenstrahlannäherungslithographsystems, bei dem die Erfindung eingesetzt werden kann, einen sechseckförmigen Röntgenstrahl haben, der zum Schattendrucken eines Maskenmusters auf einem Substrat verwendet wird. Die Maske und das Substrat liegen in der Nähe voneinander, und sie werden gleichzeitig mit entsprechender Überlappung zwischen den benachbarten Abtastungen abgetastet, wie dies nach der Erfindung gelehrt wird, um eine nahtlose und gleichmäßige Belichtung des Substrats zu erzeugen. In ähnlicher Weise kann ein lithographisches System mit Elektronenstrahl unter Anwendung des Näherungsdrucks die Abtast- und Wiederholeinrichtungen nach der Erfindung einsetzen, wenn ein Elektronenstrahl mit einem sechseckförmigen Querschnitt bereitgestellt wird, indem die Maske und das Substrat synchron abgetastet werden und wenn man eine komplementäre Belichtung über die überlappenden, angrenzenden Abtastungen hat, so daß eine nahtlose und gleichmäßige Dosis über dem gesamten Substrat sichergestellt ist. Auf ähnliche Weise ist die Erfindung auch bei einem lithographischen System mittels optischem Kontakt oder Annäherungskontakt einsetzbar, wobei das Grundkonzept der Abtastung und Wiederholung gemäß der Erfindung verwirklicht wird. Schließlich ist der Gedanke der Lithographie mit Abtastung und Wiederholung in Verbindung mit der komplementären Randausleuchtung durch benachbarte Abtastungen auch bei maskenlosen, lithographischen Systemen anwendbar, bei denen ein polygonaler Strahl auf das Substrat fokussiert werden kann, das dann in zwei Richtungen bewegt wird, um das gewünschte Substrat auf dem Substrat zu erzeugen.

#### Arbeitsweise

Die Erfindung führt das Verfahren zur Bereitstellung eines Abtast- und Wiederholung-Lithographiesystemes mit einem hohen Auflösungsvermögen, einem großen Feld und einer hohen Arbeitsgeschwindigkeit unter Verwendung folgender Schritte durch:

1. Es wird ein Substratträger zum Halten des Substrats vorgesehen, welcher das Substrat in einer Abmessung abtasten kann und welcher in einer Richtung senkrecht zu der Abtastrichtung bewegt werden kann;

2. es wird ein Maskenhalter zum Halten der Maske angegeben, der die Maske in derselben Abmessung wie der Substratträger abtasten kann;

3. es wird eine Projektionsunterbaugruppe angegeben, die ein gewisses Verkleinerungsverhältnis  $M$  hat, die derart ausgelegt ist, das man das erforderliche Auflösungsvermögen erhält, und die eine kreisförmige Bildfeldgröße mit einem Durchmesser hat, der kleiner als die Länge eines Chips auf dem Substrat sein kann, die aber nicht kleiner als die Breite des Chips ist;

4. es wird eine Ausleuchtungsunterbaugruppe angegeben, die eine Strahlung mit einer Wellenlänge und einer Intensität erzeugt, die bei dem Projektionssystem gefordert wird und die auf dem Substrat einen ausgeleuchteten Bereich in Form eines regelmäßigen Sechsecks mit einer Seite  $l_h$  erzeugt, das in das Kreisbildfeld eingeschrieben werden kann;

5. es wird eine Maske bereitgestellt, die eine gewisse Anzahl von  $m$ , von vollständigen, gemusterten Chipfeldern und zusätzlichen, gemusterten Feldern hat, die in den hexagonalen, ausgeleuchteten Bereich auf der Maske fallen;

6. das Substrat wird über den hexagonalen Substratausleuchtungsbereich mit einer Geschwindigkeit  $v_x$  abgetastet, und zugleich wird die Maske in einer parallelen Richtung über den hexagonalen Maskenausleuchtungsbereich hinweg mit einer Geschwindigkeit  $Mv_x$  abgetastet;

7. die Substrat- und Maskenabtastung wird momentan bei der Beendigung der Belichtung von  $m$  Chips angehalten, der Maskenträger wird in seine Ausgangsposition zurückgesetzt, und die Abtastung der Substrat- und Maskenträger wird wiederum aufgenommen;

8. die Substrat- und Maskenabtastung wird bei der Beendigung einer Abtastung über die Breite des Substrats



hinweg angehalten, das Substrat wird um einen Abstand gleich  $1,5 l_h$  in einer Richtung senkrecht zur Abtastrichtung bewegt, und die Abtastung der Substrat- und Maskenträger in Gegenrichtung zu den Richtungen in den Schritten 6 und 7 werden wieder aufgenommen;

9. die Substrat- und Maskenträger werden in gewünschten Chipintervallen während den Schritten 6 bis 8 ausgerichtet; und

10. die Schritte 6 bis 9 werden wiederholt, bis die Belichtung des gesamten Substrats abgeschlossen ist.

#### Beispiel

Ein Beispiel einer Auslegungsform eines Abtast- und Wiederholungslithographiesystems nach der Erfindung wird nachstehend angegeben. Der hexagonale Ausleuchtungsbereich auf dem Substrat, der beim 32 in Fig. 2 gezeigt ist, ist derart gewählt, daß  $\sqrt{2} l_h$  ist, die Länge einer Seite der effektiven, viereckigen Feldgröße (33 in Fig. 2) der Projektionslinsenordnung (26 in Fig. 1) ist 10,0 mm. Dann ist  $l_h$  die Länge einer Seite des regelmäßigen Sechsecks  $10,0 / \sqrt{2} \text{ mm} = 7,07 \text{ mm}$ , und die kreisförmige Bildfeldgröße (31 in Fig. 2) der Projektionslinsenordnung hat einen Durchmesser  $2l_h = 2 \times 7,07 \text{ mm} = 14,1 \text{ mm}$ . Die Projektionslinsenordnung hat ein Verkleinerungsverhältnis von 5. Der Ausleuchtungsbereich auf der Maske ist ein regelmäßiges Sechseck mit einer Seite  $5 \times 7,07 \text{ mm} = 35,4 \text{ mm}$ .

Der Substraträger ist so ausgelegt, daß er Halbleiterwafer mit einem Durchmesser von 200 mm hält. Der Substraträger tastet in  $x$ -Richtung mit einer Geschwindigkeit  $v_x = 100 \text{ mm/s}$  ab. Die Länge jeder  $x$ -Abtastung ist durch das Segment des abzutastenden Substrats bestimmt und gleich dem Substratdurchmesser (200 mm) für Abtastungen an und in der Nähe der Mitte des Substrats. Am Ende der ersten  $x$ -Abtastung (50 in Fig. 5) wird der Substraträger in  $y$ -Richtung um einen Weg gleich der effektiven Abtastbreite  $w$  (52 in Fig. 5) bewegt, welcher sich auf  $1,5 l_h = 1,5 \times 7,07 \text{ mm} = 10,6 \text{ mm}$  beläuft. Nach der  $y$ -Bewegung um  $w (= 10,6 \text{ mm})$  wird das Substrat in der negativen  $x$ -Richtung (54 in Fig. 5) abgetastet, und am Ende derselben erfolgt eine weitere Bewegung in  $y$ -Richtung von 10,6 mm (56 in Fig. 5). Dann beginnt eine weitere  $x$ -Abtastung (58 in Fig. 5) in  $x$ -Richtung. Diese Verfahrensweise wird ständig fortgesetzt, bis das vollständige Substrat abgetastet ist. Gleichzeitig mit der Substratabtastung tastet der Maskenträger mit einer Geschwindigkeit  $5v_x = 500 \text{ mm/s}$  ab, und seine Bewegung wird jedesmal umgekehrt, wenn der Substraträger seine Richtung umkehrt.

Jedes Chipfeld auf dem Substrat ist bei diesem Beispiel 10,6 mm breit (gleich groß wie die effektive Abtastbreite  $w$ ) und 22,0 mm lang (siehe Fig. 7). Die Chipfelder auf der Maske sind fünfmal größer, d. h.  $53,0 \text{ mm} \times 110,0 \text{ mm}$ . Der Maskenrohkörper ist etwa 125 mm breit und 250 mm lang und mit vier vollständigen Chipfeldern als Muster versehen, die in Fig. 8A gezeigt und erörtert sind. Es ist noch anzumerken, daß die Abmessungen eines Chipfeldes entweder auf dem Substrat oder auf der Maske derart bestimmt sind, daß der Schnittpunkt, d. h. der Abstand zwischen benachbarten Feldern, mit eingeschlossen ist.

Die Maske tastet nur in  $x$ -Richtung ab, und ihre Abtastlänge ist die Länge der beiden Maskenchipfelder (220 mm).

Nachdem die Maske eine Länge von 220 mm abgetastet hat, werden der Maskenträger und der Substraträger momentan angehalten, der Maskenträger wird auf seine Ausgangsstellung zurückgebracht (siehe Fig. 7), und die synchrone Abtastung der Maske und des Substrats wird wieder aufgenommen. Nachdem zwei weitere Chipfelder abgetastet wurden, wird der Maskenträger wiederum zurückgesetzt, und der vorstehend beschriebene Verfahrensablauf wird kontinuierlich während der Belichtung des gesamten Substrats hinweg fortgesetzt.

Die Projektionslinsenordnung ist derart ausgelegt, daß sie bei einer Wellenlänge von  $\lambda = 248,4 + / - 0,0003 \text{ nm}$  arbeitet, es handelt sich um eine schmallinige und frequenzstabilisierte Kryptonfluorid(KrF)-Erregerlaserquelle. Die numerische Apertur der Projektionslinsenordnung auf der Substratseite ist  $NA_u = 0,46$ . Sie ist so ausgelegt, daß man einen Auflösungswert  $R$  von 0,35  $\mu\text{m}$  erhält, wenn man folgende Gleichung zugrunde legt.

$$R = k\lambda / NA_u$$

wobei der Wert von  $k = 0,65$  annimmt. Mit einem Verkleinerungsverhältnis  $M = 5$ , ist die numerische Apertur der Projektionslinsenordnung auf der Maskenseite (siehe Fig. 1).

$$NA_m = M \times NA_u = 0,092.$$

Die Ausleuchtung der Maske ist derart, daß der Partialkohärenzfaktor  $\sigma = 0,6$  ist. Somit beläuft sich die effektive numerische Apertur der Ausleuchtung auf der Maske auf

$$NA_{ms} = NA_m / \sigma = 0,153.$$

Die Größe der effektiven Quellenebene (21 in Fig. 1) ist gleich dem hexagonalen Ausleuchtungsbereich auf dem Substrat ausgelegt, d. h.  $1/M$  der Größe des hexagonalen Beleuchtungsbereiches auf der Maske. Somit beläuft sich die effektive, numerische Apertur der Quelle,  $NA_s$ , in der Quellenebene auf

$$NA_s = M \times NA_{ms} = 0,767.$$

Die Erregerlaserquelle wird mit einer Frequenz von 204 Hz gepulst. (Die Wahl von 204 Hz für die Laserimpulsfrequenz wird nachstehend in Verbindung mit der Waferdurchsatzberechnung erläutert.) Die Abtastung des Substraträgers erfolgt in Schritten synchron mit den Laserimpulsen. Somit bewegt sich mit jeder Abgabe eines

Laserimpuls der Substraträger um 0,49 mm (hierbei erhält man eine effektive Substratabtastgeschwindigkeit von 100 mm/s). In ähnlicher Weise ist die Maskenträgerabtastung in den Schritten von 2,45 mm jeweils ebenfalls mit den Laserimpulsen synchronisiert.

Der Waferdurchsatz, d. h. die Anzahl der pro Stunde belichteten Wafer bei einem derartigen lithographischen System mit Abtastung und Wiederholung soll nachstehend ermittelt werden. Der hexagonale Ausleuchtbereich auf dem Substrat hat eine Breite  $l_d$  (beispielsweise  $b-c$  in Fig. 3) gegeben durch folgende Gleichung:

$$l_d = \sqrt{3} l_h = 12,2 \text{ mm}.$$

Für eine Substratabtastgeschwindigkeit von  $v_x = 10 \text{ cm/s}$  wird die Sechseckbreite  $l_d$  in einer Zeit  $t_d$  abgetastet, die sich wie folgt ergibt:

$$t_d = l_d / v_x = \sqrt{3} l_h / v_x = 0,1222 \text{ s}.$$

Bei einer Laserimpulsfrequenz von  $f = 204 \text{ Hz}$  beläuft sich die Anzahl von während der Zeit abgegebenen Impulsen, die das Substrat zur Abtastung eines Weges  $l_d$  benötigt, auf folgende Größe:

$$N = f t_d = \sqrt{3} l_h f / v_x = 25.$$

Somit nimmt jeder Punkt der Wafer die kumulative Belichtung von  $N = 25$  Laserimpulsen auf. (Es ist noch deutlich hervorzuheben, daß die Laserimpulsfrequenz mit 204 Hz und nicht mit beispielsweise 200 Hz gewählt wurde, um zu erreichen, daß  $N$  eine ganze Zahl ist.) Die Laserimpulsenergiedichte  $E_w (\text{mJ}/\text{cm}^2)$  an der Wafer ist derart bestimmt, daß die aufgenommene Gesamtblendungs-dosis gleich der Empfindlichkeit  $D_s (\text{mJ}/\text{cm}^2)$  des eingesetzten Photoresists ist, und sich somit beläuft auf:

$$D_s = N E_w = \sqrt{3} l_h f E_w / v_x = 25 E_w.$$

oder

$$E_w = D_s / N = D_s v_x / \sqrt{3} l_h f = D_s / 25.$$

Wenn man beispielsweise einen Photoresist mit einer Empfindlichkeit  $D_s = 50 \text{ mJ}/\text{cm}^2$  einsetzt, muß die Laserimpulsenergiedichte an der Wafer  $E_w = 2 \text{ mJ}/\text{cm}^2$  sein. Da die Fläche  $A$  des hexagonalen Ausleuchtbereiches auf der Wafer durch folgendes gegeben ist:

$$A = l_h \times \sqrt{3} l_h + 0,5 l_h \times \sqrt{3} l_h = 1,5 \sqrt{3} l_h^2 = 1,3 \text{ cm}^2.$$

ist die Energie pro Impuls an der Wafer  $e_w$  gleich

$$e_w = A E_w = 1,5 l_h D_s v_x / f = 2,6 \text{ mJ}.$$

Somit ist  $p_w$  die auf der Wafer auftreffende Energie gleich

$$p_w = f e_w = 1,5 l_h D_s v_x = 0,53 \text{ W}.$$

Wenn man einen effektiven Übertragungswirkungsgrad von  $\eta = 20\%$  für das vollständige optische System zwischen dem Laser und dem Substrat annimmt, beläuft sich die von dem Laser abgegebene Leistung auf

$$p_L = p_w / \eta = 1,5 l_h D_s v_x / \eta = 2,65 \text{ W}.$$

Wenn man die vorstehend genannten Gleichungen nimmt, können verschiedene quantitative Größen wie die erforderliche Laserleistung und die Anzahl der Überlappungsimpulse an jedem Punkt für alle anderen Sätze von Parametern einschließlich der Widerstandsempfindlichkeit, der Abtastgeschwindigkeit, der Impulswiederholungsrate und der Größe des Ausleuchtbereiches ermittelt werden. Bei einer Frequenz von 303 Hz ergibt sich beispielsweise dann, wenn alle anderen Parameter gleich wie zuvor angegeben angenommen sind,  $N = 37$ ,  $E_w = 1,35 \text{ mJ}/\text{cm}^2$  und  $e_w = 1,76 \text{ mJ}$ , wobei die Leistung von dem Laser nach wie vor  $p_L = 2,65 \text{ W}$  ist. Wenn eine Photoresistempfindlichkeit  $D_s = 10 \text{ mJ}/\text{cm}^2$  eingesetzt wird, erhält man bei  $f = 204 \text{ Hz}$ ,  $N = 25$  entsprechend den vorangehenden Berechnungen. Nunmehr sind aber  $E_w = 0,4 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ ,  $e_w = 0,52 \text{ mJ}$ ,  $p_w = 106 \text{ mW}$  und  $p_L = 0,53 \text{ W}$ . Ein kompletter Satz dieser Ergebnisse von Widerstandsempfindlichkeiten von 10, 50 und  $100 \text{ mJ}/\text{cm}^2$  und Laserimpulsfrequenzen von 98, 204 und 303 Hz sind in der Tabelle I in Fig. 10 angegeben.

Die gesamte Abtastzeit, die zur Belichtung der Wafer mit unterschiedlichen Größen erforderlich ist, ergibt sich aus den nachstehenden Ausführungen. Da die Abtastung mit einer Geschwindigkeit von  $v_x (= 100 \text{ mm/s})$  erfolgt und die effektive Abtastbreite  $w (= 1,5 l_h = 10,6 \text{ mm})$  ist, beläuft sich der pro s effektiv belichtete Bereich auf

$$a = w v_x = 1,5 l_h v_x = 10,6 \text{ cm}^2.$$

Somit wird eine Wafer mit einem Durchmesser  $d_w$ , die eine Fläche  $A_w = \pi d_w^2 / 4$  hat, während einer Zeitdauer  $t_c$  belichtet, die sich ergibt mit

$$t_c = A_w/a = \pi d^2 w/4 w v_x = \pi d^2 w/6 l_h v_x.$$

Die Flächen der Wafer mit einem Durchmesser von 125 mm, 150 mm und 200 mm sind jeweils 122,7 cm<sup>2</sup>, 176,7 cm<sup>2</sup> und 314,2 cm<sup>2</sup>. Somit belaufen sich die Gesamtbelichtungszeiten für Wafer mit einem Durchmesser

von 125 mm, 150 mm und 200 mm jeweils auf  $t_{e,125} = 11,6$  s,  $t_{e,150} = 16,7$  s und  $t_{e,200} = 29,6$  s.  
Die Anzahl der Chips,  $n_c$ , mit der Breite  $w$  ( $= 10,6$  mm) und der Länge  $l_c$  ( $= 22,0$  mm) auf den Wafer mit unterschiedlichen Durchmessern ergibt sich dadurch, daß man die Waferfläche  $A_w$  durch den Chipbereich,  $A_c$  ( $= 2,33$  cm<sup>2</sup>) dividiert. Somit ergibt sich folgendes:

$$n_c = A_w/A_c = (\pi d^2 w/4)/w l_c = (\pi d^2 w/4)/1,5 l_h l_c = \pi d^2 w/6 l_h l_c.$$

Für Wafer mit einem Durchmesser von 125 mm, 150 mm und 200 mm belaufen sich die Werte für  $n_c$  jeweils auf 52,75 und 134.

Den Waferdurchsatz erhält man nun auf die nachstehend beschriebene Weise. Man hat:

$t_e$  = Gesamtbelichtungszeit pro Wafer und  
 $n_c$  = Anzahl der Chips pro Wafer.

Zusätzlich wird folgendes angenommen:

$t_a$  = Ausrichtzeit pro Ausrichtvorgang,  
 $n_a$ , diese Größe gibt an, daß die Ausrichtung einmal pro jeweils  $n_a$  Chips vorgenommen wird,  
 $t_{CH}$  = Gesamtabtastzeit pro Wafer (einschließlich Belastung, Entlastung, Höheneinstellung, Fokussierung, sonstige Einstellungen und Anhalten) und  
 $W$  = Waferdurchsatz pro h.

Die Gesamtzeit, die man pro Zyklus für eine Wafer beim Bearbeiten durch die lithographische Maschine benötigt, ergibt sich durch folgendes:

$$t_t = t_e + t_{OH} + t_a n_c / n_a.$$

Somit beläuft sich der Waferdurchsatz pro h auf

$$W = 3600/t_t = 3600/(t_e + t_{OH} + t_a n_c / n_a)$$

oder

$$W = 3600/(\pi d^2 w/6 l_h v_x + t_{OH} + t_a n_c / n_a).$$

Der vorstehend angegebene allgemeine Ausdruck für den Waferdurchsatz kann bei jedem beliebigen Satz von Werten für die Parameter  $l_h$ ,  $v_x$ ,  $n_c$ ,  $t_a$ ,  $n_a$ ,  $d_w$  und  $t_{OH}$  eingesetzt werden, um ein Waferdurchsatzergebnis bei den gegebenen Bedingungen zu ermitteln. Bei Wafern mit einem Durchmesser  $d_w = 150$  mm, mit einer Ausrichtung, die bei jedem vierten Chip vorgenommen wird (d. h.  $n_a = 4$ ) und unter Anwendung von  $l_h = 7,07$  mm,  $v_x = 100$  mm/s,  $n_c/n_a = 19$ ,  $t_a = 0,4$  s und  $t_{OH} = 20$  s, erhält man als Ergebnis  $W = 81,3$  Wafer/h. Wenn die Ausrichtung bei jedem zehnten Chip vorgenommen wird, so setzt man  $n_c/n_a = 8$  ein und erhält  $W = 90,2$  Wafer/h. Bei einer nebeneinanderliegenden Ausrichtung (d. h.  $n_a = 1$ ) ergibt sich  $W = 54,0$  Wafer/h. In der Tabelle II in Fig. 11 ist ein kompletter Satz von Waferdurchsatzwerten für Wafer mit Durchmessern von 125, 150 und 200 mm bei drei unterschiedlichen Ausrichtbedingungen pro jeweiligem Beispiel angegeben.

Zusammenfassend gibt die Erfindung ein lithographisches System mit Abtastung und Wiederholung an, das ein hohes Auflösungsvermögen, eine große effektive Bildfeldgröße und eine hohe Substratbelichtungsgeschwindigkeit hat. Hierbei ist folgendes vorgesehen: (a) ein Substraträger, der ein Substrat in einer Abmessung abtasten kann und der dann, wenn er keine Abtastung in dieser Abmessung vornimmt, eine Bewegung quer in einer Richtung senkrecht zu der Abtastrichtung derart ausführen kann, daß das Substrat für eine weitere Abtastung positioniert wird; der Substraträger belichtet das vollständige Substrat, indem die Substratfläche in parallele Streifen aufgeteilt wird und jeder Streifen durch Abtasten der Länge des Streifens über einen festen Ausleuchtbereich hinweg belichtet wird; (b) ein Maskenträger kann in dieselbe Richtung abtasten, und zwar synchron mit dem Substraträger, aber mit einer Geschwindigkeit, die größer als die Substraträger-Abtastgeschwindigkeit um ein gewisses Verhältnis  $N$  ist; (c) eine Ausleuchtunterbaugruppe hat eine effektive Quellenebene in Form eines Polygons und kann einen polygonförmigen Bereich auf der Maske gleichmäßig ausleuchten; (d) eine Projektionsunterbaugruppe hat ein Objekt-zu-Bild-Verkleinerungsverhältnis  $M$ , das ein polygonförmiges Bildfeld mit einer kleineren Fläche als die gewünschte effektive Bildfeldgröße des lithographischen Systems hat; und (e) es werden komplementäre Belichtungen in einem überlappenden Bereich zwischen den durch benachbarte Abtastungen belichteten Bereichen derart vorgenommen, daß eine Naht bei der Belichtungsdosisverteilung auf dem Substrat zwischen den Abtastungen fehlt und daß die auf das gesamte Substrat abgegebene Belichtungsdosis gleichmäßig ist.

#### Patentansprüche

1. Lithographisches System mit einer hohen Auflösung, einer hohen Belichtungsgeschwindigkeit, einer großen effektiven Feldgröße und einer Abtast- und Wiederholeinrichtung zur Erzeugung von genauen Abbildungen eines auf einer Maske vorhandenen Musters auf einem Substrat, gekennzeichnet durch:

- a) einen Substraträger (12), der ein Substrat in einer Abmessung abtasten kann, und der dann, wenn diese Abmessung nicht abgetastet wird, sich in Querrichtung in einer Richtung senkrecht zu der Abtastrichtung derart bewegen kann, daß das Substrat für eine weitere Abtastung positioniert ist, wobei der Substraträger (12) das vollständige Substrat durch Aufteilen der Substratfläche in eine gewisse Anzahl von parallelen Streifen belichten kann und jeder dieser Streifen dadurch belichtbar ist, daß die Länge des Streifens über einen festen Ausleuchtungsbereich abgetastet wird, 5
- b) einen Lastenträger (16), der in dieselbe Abmessung und synchron mit dem Substraträger (12), aber mit einer Geschwindigkeit abtasten kann, die gleich der Substraträgerabtastgeschwindigkeit multipliziert mit einem gewissen Verhältnis ( $M$ ) ist;
- c) eine Ausleuchtunterbaugruppe (18), die die gewünschten Charakteristika hinsichtlich der Wellenlänge und der Intensitätsverteilung hat, und die eine effektive Quellenebene (21) in Form eines Polygons hat, die eine gleichmäßige Ausleuchtung eines polygonförmigen Bereiches auf der Maske gestattet, 10
- d) eine Projektionsunterbaugruppe (26) zum Abbilden des polygonförmigen, ausgeleuchteten Bereiches auf der Maske auf das Substrat, welches ein Objekt-zu-Abbildungsverkleinerungsverhältnis ( $M$ ) hat, das die gewünschte Abbildungsauflösung hat und ein Bildfeld in Form eines Polygons und mit einer Fläche hat, die kleiner als die gewünschte, effektive Bildfeldgröße des lithographischen Systems ist, und 15
- e) eine Steuereinrichtung (30), welche den Substraträger (12), den Maskenträger (16) und die Ausleuchtunterbaugruppe (18) hinsichtlich des Betriebs einander zuordnet und komplementäre Belichtungen in einem Überlappungsbereich zwischen den durch benachbarte Abtastungen (1, 2, 3) belichteten Bereichen derart vornimmt, daß die in dem Überlappungsbereich aufgenommene Belichtungs-dosisverteilung nahtlos ist und daß die über das gesamte Substrat abgegebene Belichtungs-dosis gleichmäßig ist. 20
2. Lithographisches System mit Abtastung und Wiederholung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß:
- a) die Ausleuchtunterbaugruppe (18) eine effektive Quellenebene (21) in Form eines regelmäßigen Sechsecks hat, einen Bereich in Form eines regelmäßigen Sechsecks auf der Maske ausleuchtet und der Bereich in Form eines regelmäßigen Sechsecks derart orientiert ist, daß zwei der Seiten senkrecht zu der Abtastrichtung sind, 25
- b) die Projektionsunterbaugruppe (26) ein Bildfeld in Form eines regelmäßigen Sechsecks hat und das regelmäßige Sechseck derart orientiert ist, daß zwei seiner Seiten senkrecht zu der Abtastrichtung sind, und 30
- c) die effektive Breite  $w$  jeder Substratabtastung definiert als die Quertrennung zwischen den Mittellinien von zwei benachbarten Abtastungen gegeben ist durch:
- $$w = 1,5 l_h$$
- wobei  $l_h$  die Länge jeder Seite des in Form eines regelmäßigen Sechsecks ausgebildeten Bildfeldes auf dem Substrat ist. 35
3. Lithographisches System mit Abtastung und Wiederholung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die effektive Breite  $w$  jeder Substratabtastung gleich der Breite jedes Chips auf dem Substrat ist und daß die Breite jedes Chips auf dem Substrat als der periodische Abstand bestimmt ist, mit dem sich die Chips auf dem Substrat in der Richtung senkrecht zur Abtastrichtung wiederholen.
4. Lithographisches System mit Abtastung und Wiederholung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß:
- a) die Richtung der Substratbewegung bei jeder Abtastung entgegengesetzt zu der Richtung der Substratbewegung bei einer benachbarten Abtastung ist, und
- b) die Richtung der Maskenbewegung bei jeder Abtastung entgegengesetzt zu der Richtung der Maskenbewegung bei einer benachbarten Abtastung ist. 45
5. Lithographisches System mit Abtastung und Wiederholung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß:
- a) die Anzahl der Chipfelder auf der Maske in Abtastrichtung gleich einer gewissen Anzahl  $N_m$  ist, die kleiner als die Anzahl von Chips in der längsten Abtastung auf dem Substrat ist, und
- b) die Steuereinrichtung (30) die Abtastung überwacht und die bei der Ermittlung einer synchronen Abtastung durch den Substraträger (12) und den Maskenträger (16) pro jeweils  $N_m$ -Chips für den Substraträger (12) eine plötzliche Pause bzw. einen plötzlichen Stillstand vorgibt, der Maskenträger (16) in seine Ausgangsposition zurückgesetzt wird und zur synchronen Abtastung des Substraträgers (12) und des Maskenträgers (16) den Betrieb wieder aufnimmt. 50
6. Lithographisches System mit Abtastung und Wiederholung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausleuchtunterbaugruppe (18) eine Strahlung liefert, die mit einer bestimmten Wiederholungsfrequenz gepulst ist. 55
7. Lithographisches System mit Abtastung und Wiederholung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die gepulste Strahlung von einem Exciplex-Laser emittiert wird.
8. Lithographisches System mit Abtastung und Wiederholung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausleuchtunterbaugruppe (18) eine Röntgenstrahlausleuchtung eines polygonförmigen Bereichs auf der Maske vornimmt. 60
9. Lithographisches System mit Abtastung und Wiederholung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausleuchtunterbaugruppe (18) eine Elektronenstrahlausleuchtung eines polygonförmigen Bereichs auf der Maske vornimmt. 65
10. Lithographisches System mit Abtastung und Wiederholung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß:
- a) die Abtastung des Substraträgers (12) gleich einem Vielfachen einer gewissen Bewegungseinheit

der Länge der  $d_s$  derart gewählt ist, daß gilt

$$d_s = v_r / f,$$

wobei  $v_r$  die effektive Substratabtastgeschwindigkeit und  $f$  die Pulswiederholungsfrequenz der Ausleuchtunterbaugruppe (18) ist, und

b) die Maskenträgerabtastung gleich einem Vielfachen einer Bewegungseinheit der Länge  $d_m$  gewählt ist, so daß folgendes gilt:

$$d_m = M d_s.$$

11. Lithographisches System mit Abtastung und Wiederholung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung (30) eine Wiederausrichtung der Maske und der Wafer bezüglich einander periodisch vornimmt und das Intervall zwischen den aufeinanderfolgenden Wiederausrichtungen dadurch bestimmt wird, daß während des Intervalls die Zahl der von der Ausleuchtunterbaugruppe (18) emittierten Impulse überwacht wird.

12. Lithographisches System mit Abtastung und Wiederholung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl der von der Ausleuchtunterbaugruppe (18) während des Intervalls zwischen aufeinanderfolgenden Wiederausrichtungen emittierten Impulse ein Mehrfaches von  $l_c / v_r$  ist, wobei  $l_c$  die Länge eines Chips auf dem Substrat in Abtastrichtung ist.

13. Lithographisches System mit Abtastung und Wiederholung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Maskenträger (16) zusätzlich zu seiner Fähigkeit, eine Abtastung vorzunehmen, auch in einer Richtung senkrecht zu der Abtastrichtung bewegbar ist.

14. Lithographisches System mit Abtastung und Wiederholung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß:

- a) das Objekt-zu-Abbildung-Verkleinerungsverhältnis der Projektionsunterbaugruppe (26) 5 ist und
- b) das Verhältnis der Maskenabtastgeschwindigkeit zu der Substratabtastgeschwindigkeit 5 ist.

15. Lithographisches System mit Abtastung und Wiederholung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß:

- a) das Objekt-zu-Bild-Verkleinerungsverhältnis der Projektionsunterbaugruppe (26) 1 ist und
- b) das Verhältnis von Maskenabtastgeschwindigkeit zu Substratabtastgeschwindigkeit 1 ist.

16. Lithographisches System mit Abtastung und Wiederholung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Wellenlänge der Ausleuchtunterbaugruppe (18) in dem Bereich von  $251 \pm 3$  nm liegt.

17. Verfahren zum Betreiben eines lithographischen Systems mit Abtastung und Wiederholung sowie mit einem hohen Auflösungsvermögen, einem großen Feld und einer hohen Arbeitsgeschwindigkeit, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- a) Vorsehen eines Substraträgers zum Halten des Substrats, welcher das Substrat in einer Abmessung abtasten kann und sich quer hierzu in einer Richtung senkrecht zu der Abtastrichtung bewegen kann,
- b) Vorsehen eines Maskenträgers zum Halten der Maske, welcher die Maske in derselben Abmessung wie der Substraträger abtasten kann,
- c) Vorsehen einer Ausleuchtunterbaugruppe, die gewünschte Eigenschaften hinsichtlich der Wellenlänge und der Intensitätsverteilung hat, die eine effektive Quellenebene in Form eines Polygons hat und die eine gleichmäßige Ausleuchtung eines polygonförmigen Bereiches auf der Maske ermöglichen kann,
- d) Vorsehen einer Projektionsunterbaugruppe zum Abbilden des polygonförmigen Ausleuchtbereiches auf der Maske auf das Substrat, die ein Objekt-zu-Bild-Verkleinerungsverhältnis  $M$  hat, die ein gewünschtes Abbildungsauflösungsvermögen hat und die ein Bildfeld in Form eines Polygons und mit einer Fläche hat, die kleiner als die gewünschte, effektive Bildfeldgröße des lithographischen Systems ist,
- e) Vorsehen einer Maske, die eine gewisse Anzahl von vollständigen, mit Muster versehenen Chipfeldern und zusätzliche, mit Mustern versehene Bereiche hat, die in den hexagonalen, ausgeleuchteten Bereich auf der Maske fallen,
- f) Abtasten des Substrats über den polygonalen Substratausleuchtungsbereich hinweg mit einer gewissen Geschwindigkeit  $v_r$  und gleichzeitiges Abtasten der Maske in einer parallelen Richtung über den polygonalen Maskenausleuchtungsbereich hinweg mit einer Geschwindigkeit  $M v_r$ ,
- g) Anhalten der Abtastung der Substrat- und Maskenträger mit der Beendigung einer Abtastung über die Gesamtlänge des Substrats längs der Abtastrichtung hinweg, Bewegen des Substrats um eine gewisse Wegstrecke in einer Richtung zu der Abtastrichtung und Wiederaufnehmen der Abtastung der Substrat- und Maskenträger in Richtungen, die zu den jeweiligen Richtungen im Schritt (f) entgegengesetzt gerichtet sind,
- h) Vorsehen von komplementären Belichtungen in einem Überlappungsbereich zwischen den durch benachbarte Abtastungen belichteten Bereichen derart, daß ein Rand bzw. eine Naht bei der auf dem Substrat empfangenen Belichtungsdosisverteilung zwischen den Abtastungen fehlt und daß die über das gesamte Substrat abgegebene Belichtungsdosis gleichmäßig verteilt ist, und
- i) Wiederholen der Schritte (f) bis (h), bis die Belichtung des gesamten Substrats beendet ist.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß ferner der Schritt zum Ausrichten der Substrat und Maskenträger in gewünschten Intervallen während der Schritte (f) bis (i) vorgesehen ist.

19. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß ferner der Schritt vorgesehen ist, gemäß dem

die Abtastung der Substrat- und Maskenträger wiederholt momentan bei Beendigung der Belichtung einer gewissen Anzahl von Chips angehalten wird, die kleiner als die Anzahl der Chips auf der längsten Substratabtastung ist, der Maskenträger in seine Ausgangsposition zurückgesetzt wird und die Abtastung der Substrat- und Maskenträger wieder aufgenommen wird.

20. Lithographisches System mit Abtastung und Wiederholung sowie mit einer hohen Auflösung, einer hohen Belichtungsgeschwindigkeit und einer großen effektiven Feldgröße, welches genaue Abbildungen eines auf einer Maske vorhandenen Musters auf einem Substrat erzeugt, gekennzeichnet durch:

a) einen Substraträger (12), der ein Substrat in einer gewissen Abmessung ( $x$ ) abtasten kann und gleichzeitig das Substrat in einer Richtung  $y$  abtasten kann, die senkrecht zu der Richtung  $x$  ist, so daß der Substraträger (12) während der Beendigung einer Abtastung in die  $x$ -Richtung sich gleichzeitig in Querrichtung in  $y$ -Richtung bewegen kann und somit das Substrat für eine weitere Abtastung in die  $x$ -Richtung positionieren kann, wobei der Substraträger (12) somit das gesamte Substrat dadurch belichten kann, daß die Substratfläche in eine gewisse Anzahl von Streifen unterteilt wird und jeder Streifen durch Abtasten der Länge des Streifens über einen festen Ausleuchtbereich hinweg belichtet wird,

b) einen Maskenträger (16), der in dieselben beiden Richtungen und synchron mit dem Substraträger (12) sowie mit Geschwindigkeiten in  $x$ - und  $y$ -Richtung abtasten kann, die um ein gewisses Verhältnis  $M$  größer als die entsprechenden Substratabtastgeschwindigkeiten sind,

c) eine Ausleuchtunterbaugruppe (18), die gewünschte Eigenschaften hinsichtlich der Wellenlänge und der Intensitätsverteilung hat, die eine effektive Quellenebene (21) in Form eines Sechsecks hat und die eine gleichmäßige Ausleuchtung eines polygonförmigen Bereiches auf der Maske gestattet, und

d) eine Projektionsunterbaugruppe (26), die den polygonförmig ausgeleuchteten Bereich auf der Maske auf dem Substrat abbilden kann, ein Objektzu-Bild-Verkleinerungsverhältnis  $M$  hat, das gewünschte Bildauflösungsvermögen hat und ein Bildfeld in Form eines Polygons und mit einer Fläche hat, die kleiner als die gewünschte effektive Bildfeldgröße des lithographischen Systems ist, und

e) eine Steuereinrichtung (30), die den Substraträger (12), den Maskenträger (16) und die Ausleuchtunterbaugruppe (18) betriebsmäßig einander zuordnet und komplementäre Belichtungen in einem Überlappungsbereich zwischen Bereichen vornimmt, die durch benachbarte Abtastungen belichtet werden, und zwar derart, daß die Belichtungsdosisverteilung, die in dem Überlappungsbereich aufgenommen wird, nahtlos ist und daß die auf das gesamte Substrat abgegebene Belichtungsdosis gleichmäßig ist.

21. Verfahren zum Betreiben eines lithographischen Systems mit Abtastung und Wiederholung sowie mit einem hohen Auflösungsvermögen, einem großen Feld und einer hohen Arbeitsgeschwindigkeit, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

a) Vorsehen eines Substratreglers zum Halten des Substrats, der das Substrat gleichzeitig in zwei Richtungen  $x$  und  $y$  abtasten kann,

b) Vorsehen eines Maskenträgers zum Halten der Maske, der gleichzeitig die Maske in  $x$ - und  $y$ -Richtungen abtasten kann,

c) Vorsehen einer Ausleuchtunterbaugruppe, die gewünschte Eigenschaften hinsichtlich der Wellenlänge und der Intensitätsverteilung hat, die eine effektive Quellenebene in Form eines Polygons hat und die eine gleichmäßige Ausleuchtung eines polygonförmigen Bereiches auf der Maske gestattet,

d) Vorsehen einer Projektionsunterbaugruppe zum Abbilden des polygonförmigen, ausgeleuchteten Bereiches auf der Maske auf dem Substrat, die ein Objekt-zu-Abbildungs-Verkleinerungsverhältnis  $M$  hat, die ein gewünschtes Bildauflösungsvermögen hat und die ein Bildfeld in Form eines Polygons mit einem Bereich, der kleiner als die gewünschte effektive Bildfeldgröße des lithographischen Systems ist,

e) Abtasten des Substrats gleichzeitig in  $x$ - und  $y$ -Richtungen über den polygonalen Substratausleuchtungsbereich hinweg mit einer gewissen Geschwindigkeit in beide Richtungen, und gleichzeitiges Abtasten der Maske in  $x$ - und  $y$ -Richtungen über den polygonalen Maskenausleuchtungsbereich mit Geschwindigkeiten, die gleich den entsprechenden Substraträgerabtastgeschwindigkeiten modifiziert mit  $M$  sind,

f) Anhalten der Abtastung der Substrat- und Maskenträger bei Beendigung einer Abtastung über die Gesamtlänge des Substrats in  $x$ -Richtung hinweg, Umkehren der Richtung der Abtastung in  $x$ -Richtung, und Wiederaufnehmen der gleichzeitigen zweidimensionalen Abtastung der Substrat- und Maskenträger wie im Schritt (e);

g) Vorsehen von komplementären Belichtungen in einem Überlappungsbereich zwischen den Bereichen, die durch benachbarte, parallele Abtastungen belichtet werden, und zwar derart, daß eine Naht der Belichtungsdosisverteilung, die auf dem Substrat aufgenommen wird, zwischen den Abtastungen fehlt, und daß die auf das gesamte Substrat abgegebene Belichtungsdosis gleichmäßig ist, und

h) Wiederholen der Schritte (e) bis (g), bis die Belichtung des gesamten Substrats beendet ist.

22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß ferner der Schritt vorgesehen ist, gemäß dem der Substrat- und Maskenträger mit einem gewünschten Intervall während der Schritte (e) bis (h) ausgerichtet wird.



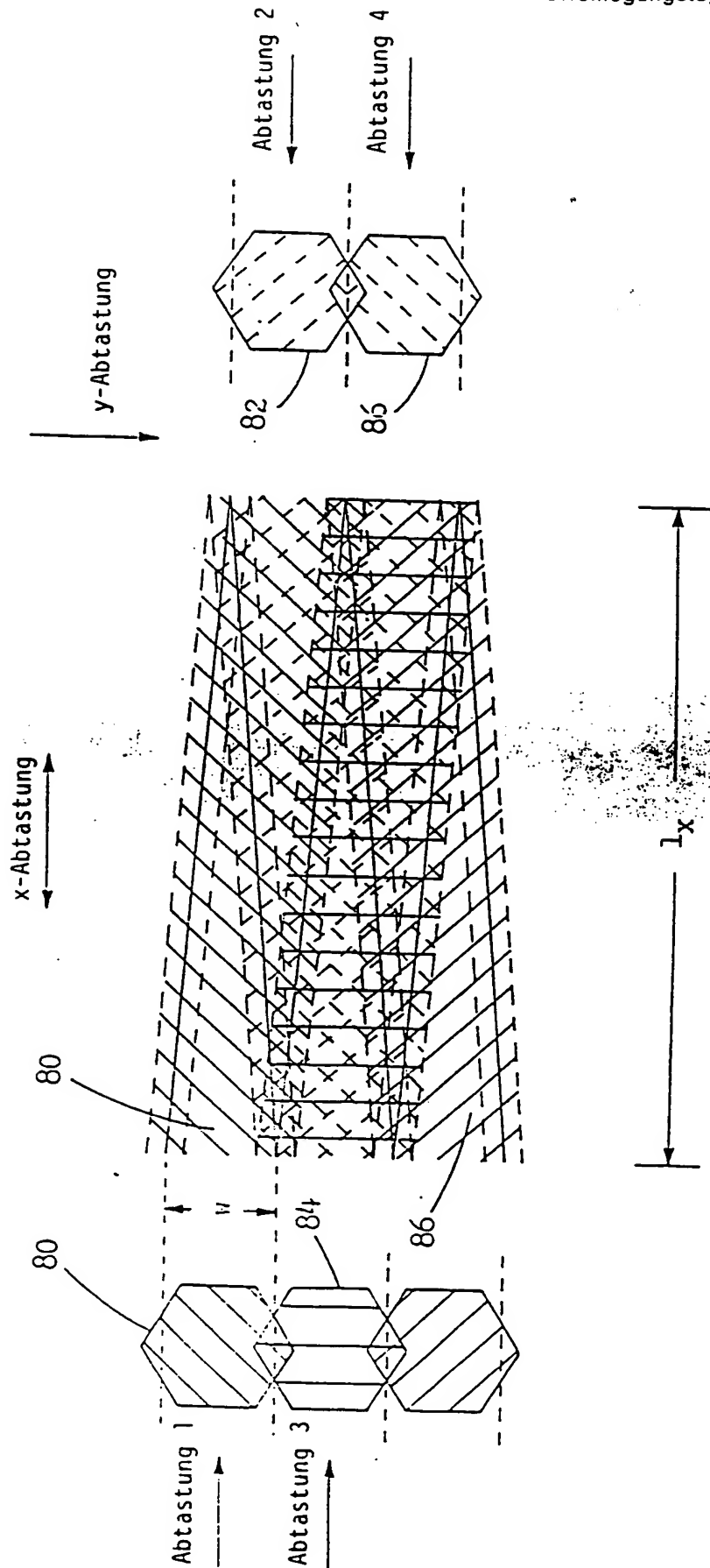


Fig. 9

Tabelle I

$D_s$ = Resist- empfindlichkeit ( $m/cm^2$ )	10			50			100		
$f$ = Laserimpuls- frequenz (Hz)	303	204	98	303	204	98	303	204	98
$N$ = Anzahl der Überlappungs- bereiche	37	25	12	37	25	12	37	25	12
$E_w$ = Energie- dichte/Impuls an Wafer	0,27	0,40	0,83	1,35	2,00	4,17	2,70	4,00	8,33
$e_w$ = Energie pro Impuls an Wafer (mJ)	0,35	0,52	1,08	1,76	2,60	5,42	3,51	5,20	10,8
$p_w$ = auf Wafer auftreffende Energie (mW)	106	106	106	530	530	530	1060	1060	1060
$p_L$ = Laser- energie (W)	0,53	0,53	0,53	2,65	2,65	2,65	5,30	5,30	5,30

Fig. 10

Tabelle II. Ermittlung des Wafer-Durchsatzes

Waferdurch- messer (mm)	Chipgröße (mm x mm)	Anzahl der Chips auf Wafer	Durchsatz (Wafer/h)		
			Ausrichtung jede Stelle	Ausrichtung jede 4. St.	Ausrichtung jede 10. St.
125	10,6 x 22	52	68,7	97,8	105,9
150	10,6 x 22	75	54,0	81,3	90,2
200	10,6 x 22	134	34,9	57,0	65,2

Fig. 11

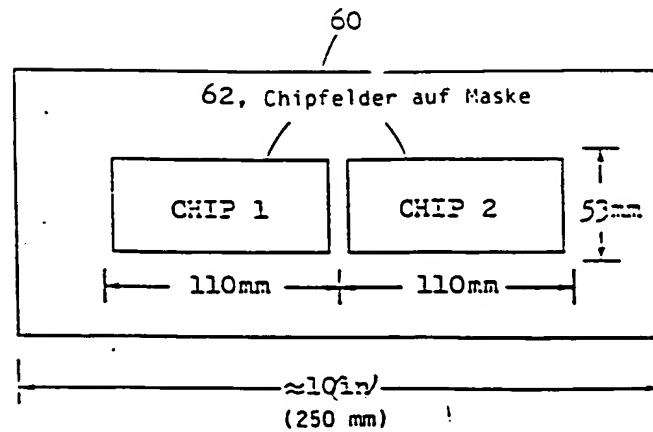


Fig. 6

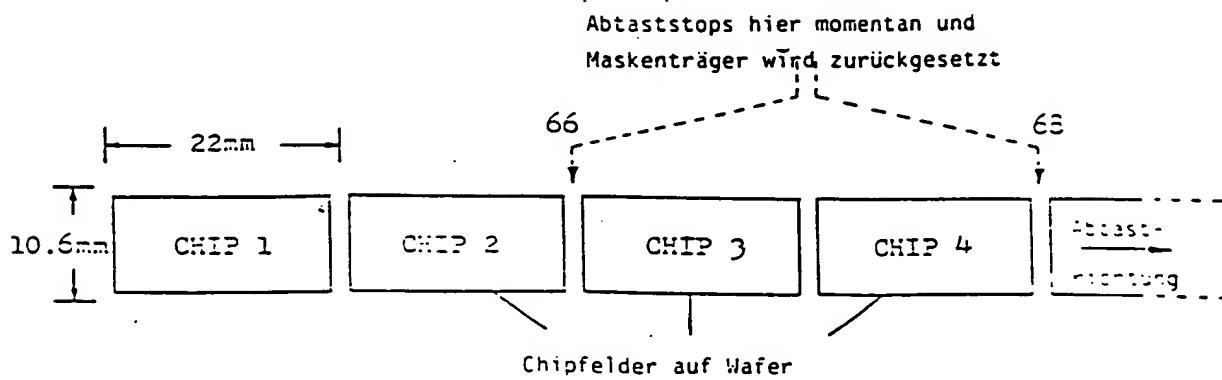


Fig. 7

Fig. 8A

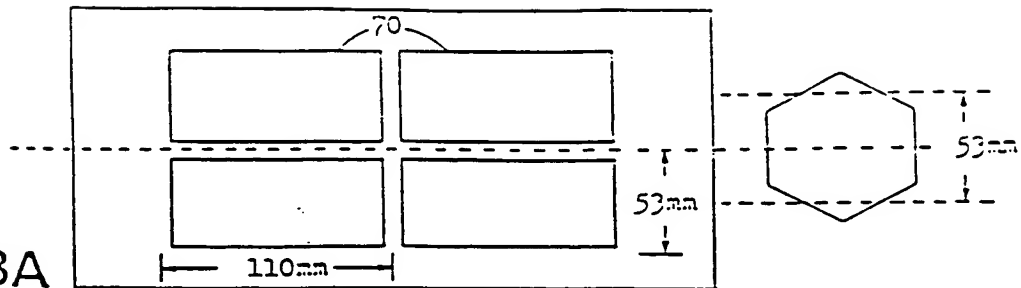


Fig. 8B

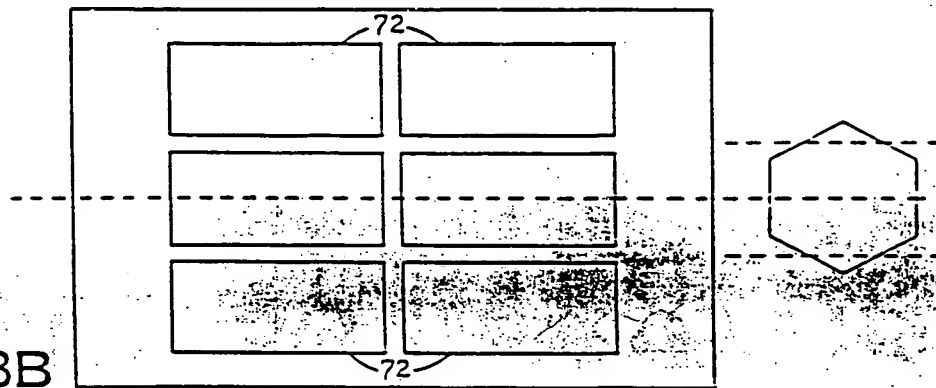
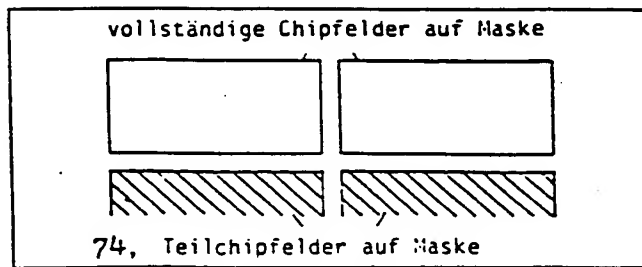


Fig. 8C



Hexagonaler Ausleucht-  
bereich auf Maske

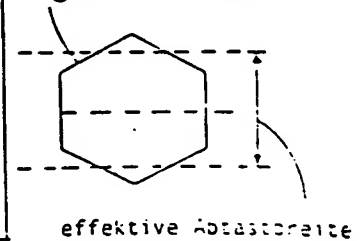
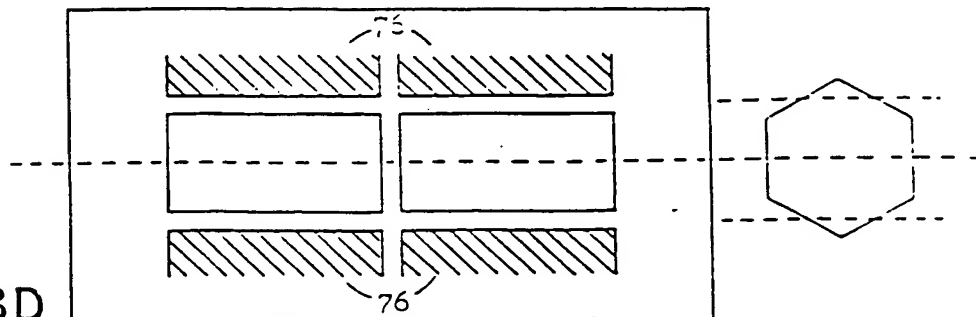


Fig. 8D



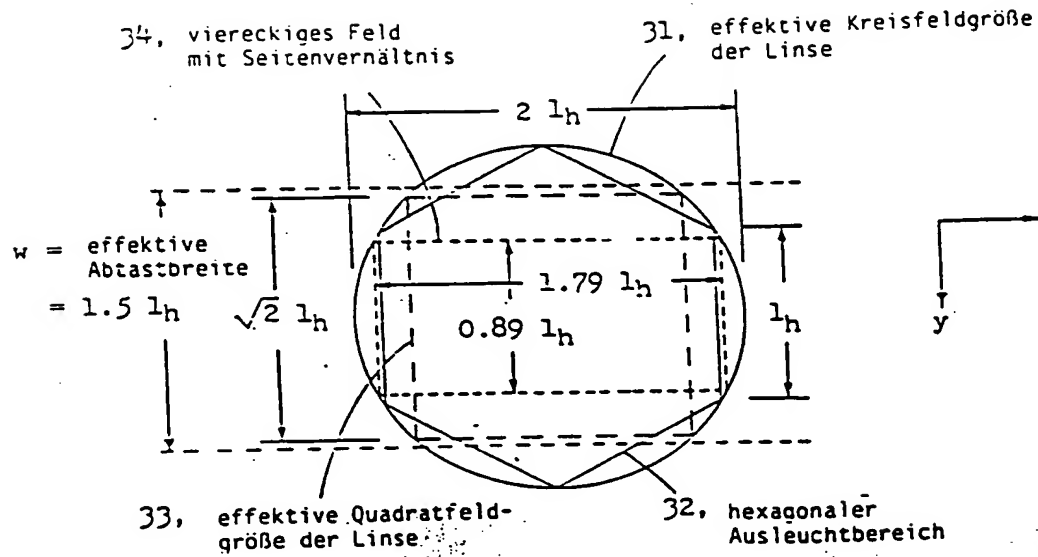


Fig. 2

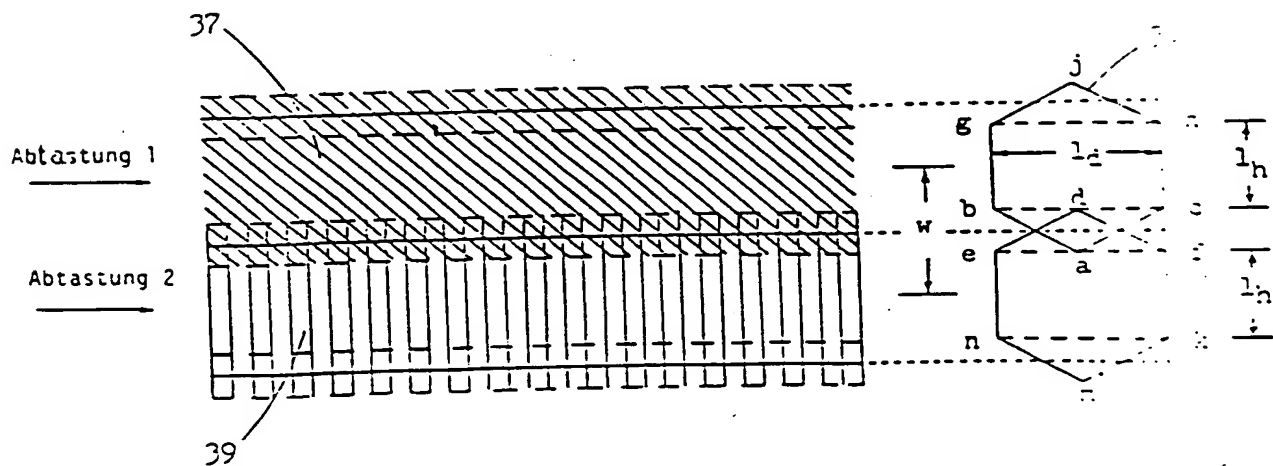


Fig. 3

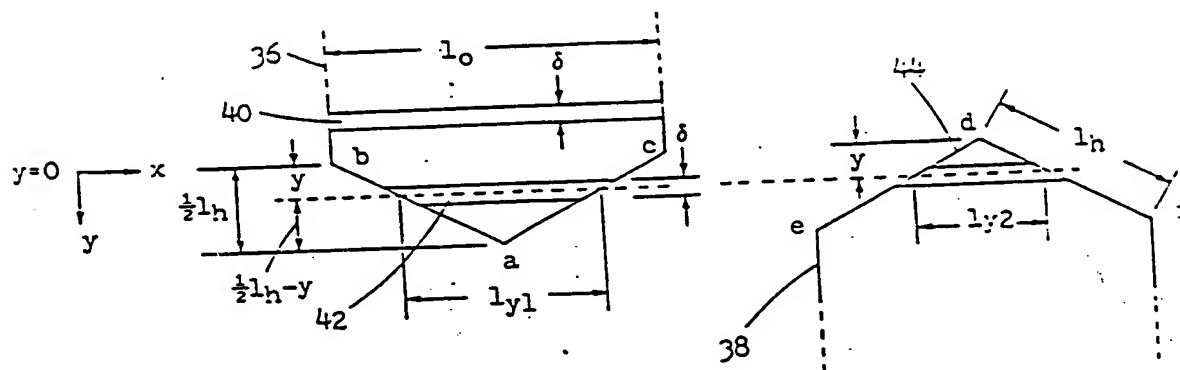


Fig. 4

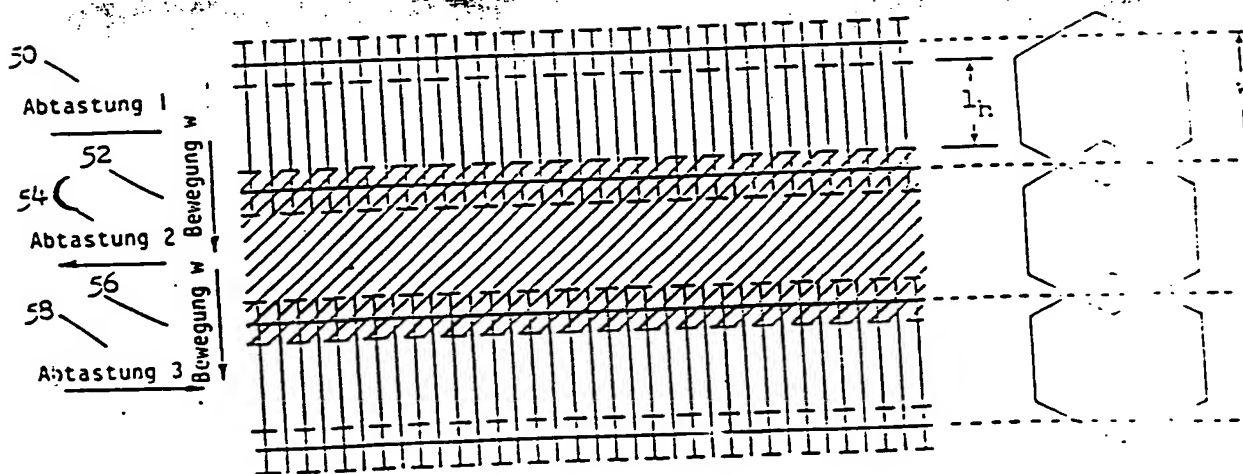


Fig. 5



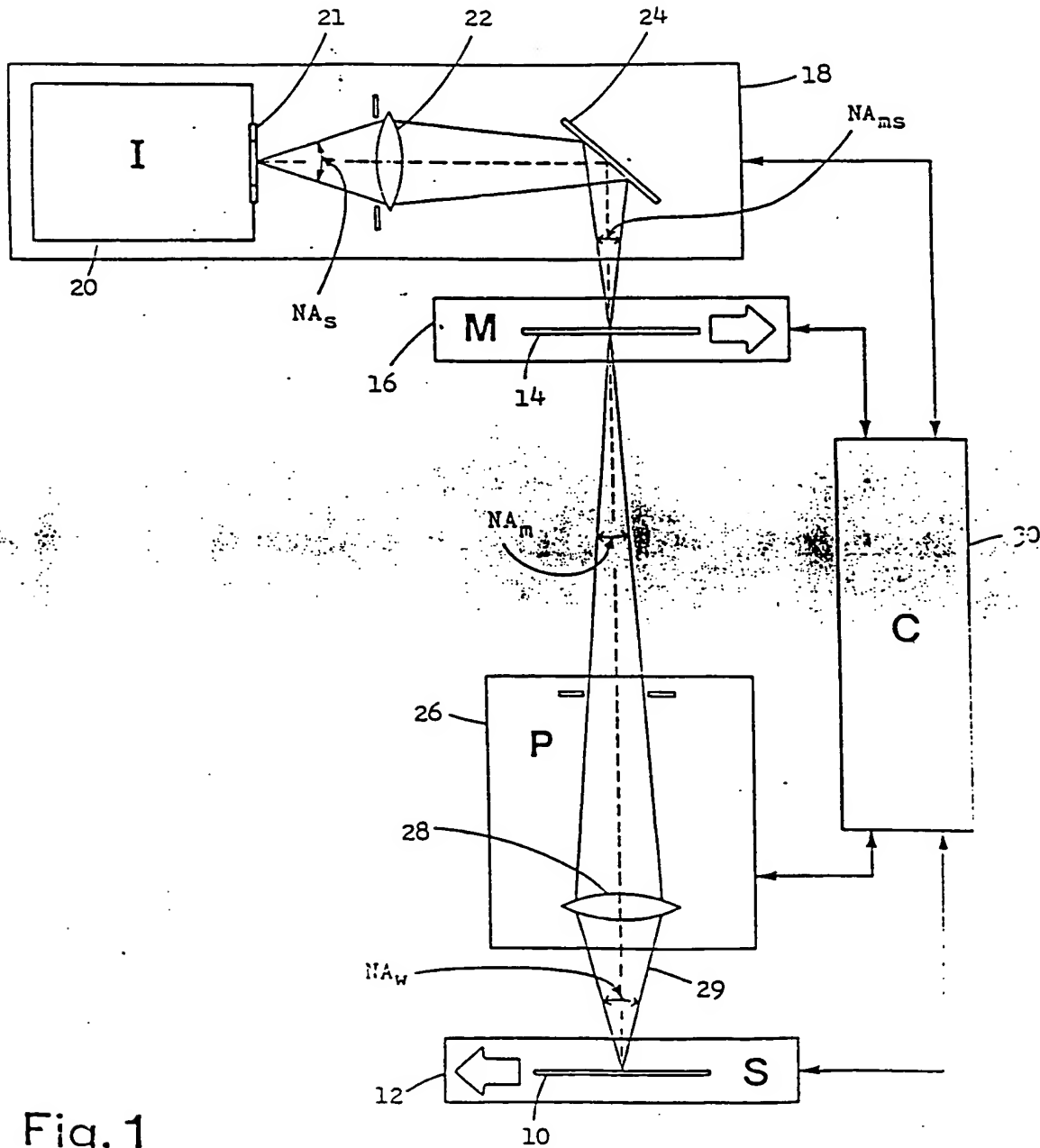


Fig. 1

